DIE
FESTIGKEITSEIGENSCHAFTEN
DER METALLE
IN WÄRME UND KÄLTE.

VON

R. BAUMANN,

INGENIEUR, PRIVATDOZENT AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN STUTTGART.

MIT 46 ABBILDUNGEN.



STUTTGART 1907.

ALFRED KRÖNER VERLAG.

Druck der Union Deutsche Verlagsgesellschaft in Stuttgart.

Inhalt.

Einleitung.

Seit man zu Beginn des vorigen Jahrhunderts anfing, Dampf von nennenswertem Ueberdruck zur Krafterzeugung zu verwenden, gewann die Frage Bedeutung, wie sich die im Kessel- und Maschinenbau gebräuchlichen Metalle in höheren Temperaturen verhalten und ob sie Eigenschaften aufweisen, die ihre Verarbeitung rechtfertigen.

So stellte im Jahr 1837 ein Komitee des Franklin-Institutes bei Gelegenheit von Untersuchungen über die Ursachen von Dampfkessel-Explosionen eingehende Versuche an über die Festigkeitseigenschaften der in Betracht kommenden Metalle bei höheren Wärmegraden.

Da es aber bei den damals angewendeten Dampfspannungen leicht war, auch ohne wesentliche Materialkenntnis befriedigend arbeitende Kessel und Maschinen herzustellen, so wurde den erwähnten Versuchen keine allgemeine Beachtung zu teil. Aehnlich erging es den Arbeiten anderer Forscher, so lange, bis in neuerer Zeit infolge Steigerung der Temperaturen, denen einzelne Konstruktionsteile (z. B. im Kessel-, Dampf- und Gasmaschinenbau) ausgesetzt sind, und infolge der gleichzeitigen Steigerung der Inanspruchnahme solcher Teile die Ermittelung der Festigkeitseigenschaften der Baustoffe im erwärmten Zustande als dringendes Bedürfnis empfunden worden ist. Gleichzeitig war auch Veranlassung geboten, das Verhalten der in Betracht kommenden Materialien in der Kälte zu ergründen, um z. B. ein Urteil darüber zu ermöglichen, ob Eisenbahn- und Brückenmaterial im Winter wesentlich andere Festigkeitseigenschaften besitze als im Sommer.

Seit der Zeit, zu welcher das Komitee des Franklin-Institutes seine Untersuchungen angestellt hatte, waren nun hinsichtlich Art und Beschaffenheit der im Maschinenbau verwendeten Materialien wesentliche Veränderungen vor sich gegangen. Die Frage nach dem Verhalten der heute gebräuchlichen Baustoffe hat daher viele und eingehende Versuche bedeutender in- und ausländischer Forscher angeregt. Diese beschäftigen sich zu einem Teil mit der Ermittelung der Festigkeitseigenschaften bei langsam bewegter, stetig zunehmender Kraft oder auch ruhender Belastung, zu einem anderen Teil mit der Bestimmung der Widerstandsfähigkeit der untersuchten Metalle gegenüber Schlagwirkungen. Hiermit wird bezweckt, den im Betriebe auftretenden Stößen und Erzitterungen, der dynamischen Beanspruchung, welcher bei der Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeiten in allen Teilen des Maschinenbaus stetig wachsende Bedeutung zukommt, Rechnung zu tragen und zu bestimmen, welches Maß von Zähigkeit die einzelnen Metalle bei dieser Prüfungsart aufweisen.

Aus den angegebenen Gründen ist, wie erwähnt, die Kenntnis der Eigenschaften unserer Konstruktionsmaterialien in höheren Wärmegraden für die ausführende Technik

zum Bedürfnis geworden. Untersuchungen in dieser Richtung besitzen allgemeine Bedeutung, sie sind nicht mehr, wie früher, fast ausschließlich Gegenstand wissenschaftlicher Forschung.

Deshalb habe ich mir die Aufgabe gestellt, die bisher veröffentlichten Versuche über die Festigkeitseigenschaften der Metalle in Wärme und Kälte, sowie die bei der Ausführung derselben verwendeten Anordnungen zu besprechen und so ein Urteil darüber zu ermöglichen, welche Wertschätzung den Ergebnissen der einzelnen Arbeiten zukommt.

Ehe zur Besprechung der ausgeführten Versuche geschritten wird, sollen die allgemeinen Anforderungen aufgestellt werden, denen Einrichtungen zu Untersuchungen in hohen und niederen Temperaturen genügen müssen. Diese Bedingungen pflegen für Warm- und Kaltversuche sinngemäß gleich zu sein; der Kürze halber werden den folgenden Betrachtungen Warmversuche zu Grunde gelegt.

Hinsichtlich der Erhitzung der Versuchsstücke ist folgendes zu verlangen [1]):

1. Die Erwärmung der Probekörper hat für alle Teile der Versuchslänge gleich zu sein.
2. Der einmal erreichte Beharrungszustand in der Erhitzung muß während der Dauer des Versuchs gleichbleibend erhalten werden können.
3. Die Temperatur des Probekörpers (die „mittlere" Temperatur, sofern geringe Verschiedenheiten in der Erwärmung desselben vorhanden sind) muß durch die vorgenommene Wärmemessung genau bestimmt sein.

Die zur Heizung verwendeten Hilfsmittel müssen folgende Bedingungen erfüllen:

4. Das untersuchte Material darf nicht durch unbeabsichtigte chemische oder physikalische Einflüsse verändert werden.
5. Die verwendete Prüfungsmaschine soll durch die Heizvorrichtung weder vorübergehend noch bleibend beeinflußt werden.
6. Die zu den beabsichtigten Messungen erforderlichen Apparate müssen angebracht werden können, ohne daß sie Not leiden oder während des Versuchs dauernd unrichtige Angaben liefern.

   Erwünscht ist ferner, daß alle Teile leicht zugänglich, und Belästigungen durch Gase und Dämpfe vermieden sind.

Zu dem unter 1. bis 6. Angeführten ist folgendes zu bemerken:

1. Gleiche Erwärmung aller Teile des Probekörpers innerhalb der Meßlänge ist zu fordern, um zu erreichen, daß die Eigenschaften des Materials bei einer bestimmten, der ganzen Meßlänge zukommenden Temperatur ermittelt werden können. Wird Forderung 1. nicht erfüllt, so besteht Ungewißheit darüber, was als Versuchstemperatur zu bezeichnen ist, und die Werte des Dehnungskoeffizienten, der Bruchdehnung u. s. f., wie sie an der ganzen Meßlänge gefunden werden, würden sich durch Zusammenfügung der den einzelnen, verschieden erwärmten Teilstrecken entsprechenden Größen ergeben, also nicht zu einer bestimmten Temperatur gehören.

---

[1]) Vergl. hierüber auch Stribeck, Der Warmzerreißversuch von langer Dauer, Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1903, oder Mitteilungen über Forschungsarbeiten u. s. f. Heft 13.

Die ausgesprochene Forderung erlangt besondere Bedeutung für Wärmegrade und Metalle, bei denen die Aenderung der Festigkeitseigenschaften innerhalb eines verhältnismäßig kleinen Temperaturbereiches eine erhebliche ist.

Die Erwärmung der Versuchskörper erfolgte in den meisten Fällen in einem Bade, welches aus Oel oder Fett, geschmolzenen Salzen oder Metallen, aus Dämpfen oder Gasen verschiedener Art bestand. Bei Kaltversuchen gelangten Kältemischungen oder Kohlensäureschnee zur Verwendung.

Um zu bewirken, daß der Probekörper an allen Stellen gleiche Temperatur annimmt, ist in der Regel vor allem dafür zu sorgen, daß das Wärmbad gleichmäßig erhitzt wird. Die Heizung muß sich also auf einen möglichst großen Teil der Oberfläche des Gefäßes, welches das Bad enthält, erstrecken. Bei Verwendung gas- und dampfförmiger Bäder ist für geeignete Zuführung derselben sowie dafür zu sorgen, daß sich an keinem Punkte des Probestabes oder der mit ihm in unmittelbarer Berührung stehenden Teile der Prüfungsmaschine Niederschläge bilden können. Bei Benutzung von tropfbar flüssigen Bädern müssen unvermeidliche Abkühlungen (z. B. am Flüssigkeitsspiegel) durch lebhaftes Umrühren unschädlich gemacht oder durch Anordnung örtlicher Erwärmung aufgehoben werden.

Wenn das Bad gleichförmig erwärmt ist, so kann ungleiche Erhitzung des Probestabes dadurch bedingt sein, daß einzelne Teile desselben Abkühlungen unterworfen sind; infolge von Wärmeableitung wird dann auf einer erheblichen Strecke des Versuchskörpers eine Temperaturabnahme zu beobachten sein.

Hiernach sollte der Probestab nicht aus dem Wärmbad hervorragen und nicht mit solchen Teilen der Prüfungsmaschine in Berührung kommen, welche weniger stark geheizt werden als er selbst. Mitteilungen von Professor Stribeck darüber, welche Ungleichmäßigkeiten in der Erwärmung des Probekörpers selbst bei sehr sorgfältiger Anordnung des Ofens möglich sind, finden sich auf S. 60 dieser Arbeit angegeben.

2. Die S. 2 genannte Forderung, daß der Wärmezustand des Versuchskörpers während der Dauer des Versuchs gleichbleibend erhalten werde, bedingt, daß die Regelung der Wärmezufuhr eine genügend genaue ist[1]), vor allem aber, daß der Probekörper während der ganzen Dauer des Versuchs im Wärmbade verbleibt.

   Bei einer Anzahl von Versuchen wurde der Versuchskörper zur Prüfung aus dem Bade herausgenommen und schnell in die Festigkeitsmaschine gebracht, deren Einspannteile nicht erwärmt waren; hierauf wurde der Versuch ausgeführt und möglichst beschleunigt, um die Zeit, während welcher Abkühlung eintreten konnte, zu verkürzen. Nach dem vorstehenden ist ein solches Verfahren unzulässig. Zu den Folgen der eintretenden ungleichmäßigen Abkühlung tritt noch der Umstand, daß die rasche Versuchsdurchführung die erlangten Werte und ihre Zuverlässigkeit beeinflußt.

---

[1]) Es werde angenommen, die Abmessungen des Gefäßes, welches das Wärmbad aufnimmt, seien so große, daß die beim Versuch erzwungene Formänderung des Probekörpers nicht das Hervortreten einzelner Teile des letzteren aus der Heizflüssigkeit zur Folge hat. Bei Kupferlegierungen, zähem Stahlguß und ähnlichem z. B. nimmt die Größe der gesamten Dehnung häufig Werte an, welche einen Hinweis auf den eben erwähnten Umstand angezeigt erscheinen lassen.

Als Notbehelf für Fälle, wo es schwer ist, bessere Anordnungen hinsichtlich des Warmhaltens der Versuchskörper zu treffen, ohne andere Nachteile in den Kauf zu nehmen (insbesondere bei Schlagversuchen), ist das Vorgehen von Charpy zu erwähnen (vergl. S. 37), wonach der Probekörper in einem Paßstück befestigt ist, welches zugleich mit ihm erwärmt und beim Versuch zur Einspannung verwendet wird, so daß Abkühlung des eigentlichen Versuchskörpers durch kalte Teile der Prüfungsmaschine nicht eintritt.

3. Die Ermittelung der Temperatur des Probekörpers erfolgte bei den meisten Versuchen durch Wärmemessungen in der Heizflüssigkeit[1]). Dies setzt voraus, daß Versuchsstück und Wärmbad gleich hoch erhitzt sind[2]), was nur der Fall sein wird, wenn vom ersteren Abkühlungen ferngehalten werden und wenn die Dauer der Erwärmung ausreichend lang bemessen ist. (Zahlenmäßige Angaben finden sich auf S. 61; vergl. auch S. 62.)

   Soll die Temperatur des Versuchskörpers selbst bestimmt werden, so ist darauf zu achten, daß unmittelbare Berührung zwischen dem verwendeten Instrument und dem Probestück gesichert ist und daß andere Einflüsse ferngehalten oder in Rechnung gezogen werden. Bei Thermo-Elementen sollte die Lötstelle in einer Bohrung untergebracht oder fest an die Oberfläche der Probe angedrückt und durch Einhüllung nach außen abgeschlossen werden. Bei Quecksilber-Thermometern ist zu vermeiden, daß das Quecksilber zu einem Teil anderen Wärmegraden ausgesetzt ist als denjenigen, deren Höhe bestimmt werden soll.

   Bei einer Anzahl von Versuchen wurde die Temperatur der Probekörper durch kalorimetrische Messungen oder durch Beobachtung der Verlängerung durch die Wärme bestimmt. Diese Verfahren sind im allgemeinen nicht empfehlenswert.

4. Der als Wärmbad verwendete Stoff darf das untersuchte Material nicht angreifen; für die meisten der gebrauchten Flüssigkeiten ist durch chemische Untersuchung nachgewiesen, daß diese Forderung erfüllt ist. Bei gasförmigem Heizmittel, besonders wenn Abgase Verwendung finden, kann bei manchen Metallen bei lang dauernder Erhitzung Veränderung eintreten (z. B. durch unverbrannten Wasserstoff bei Kupfer und Eisen). Von physikalischen Einflüssen können namentlich magnetische Einwirkungen bei mangelhafter Anordnung elektrischer Heizvorrichtungen Bedeutung erlangen.

5. Bleibende oder vorübergehende Schädigung der verwendeten Prüfungsmaschine kann durch hohe oder ungleichförmige Erwärmung, durch Niederschläge und Anfressungen infolge aufsteigender Dämpfe, durch Magnetisierung einzelner Teile u. s. f. hervorgerufen werden.

---

[1]) Hierzu dienten Quecksilber-Thermometer (für höhere Temperaturen bis gegen 600° C. mit Stickstofffüllung) oder Thermo-Elemente (meist nach Le Chatelier, Platin-, Platin-Rhodiumdraht). Luft-Thermometer finden seit Einführung der Thermo-Elemente wohl keine Verwendung mehr.

[2]) Wird die Gesetzmäßigkeit, welche bei Ungleichheit von Bad- und Stabtemperatur zwischen den beiden letzteren im Beharrungszustande besteht, ermittelt, so kann eine Wärmemessung im Heizbad genaue Werte für die Stabtemperaturen liefern, auch wenn Versuchsstück und Wärmbad nicht gleich erhitzt sind.

6. Die zu Feinmessungen verwendeten Apparate leiden durch hohe Erwärmung häufig Not und werden in ihren Angaben durch Erhitzung oft störend beeinflußt. Am besten werden daher solche Prüfungsverfahren gewählt, welche die Anwendung solcher Apparate entbehrlich machen [1]). (Vergl. z. B. das in der Fußbemerkung S. 69 Gesagte.) Anderenfalls sind die Meßinstrumente so zu entwerfen, daß die erwärmten und im Heizbade befindlichen Teile geringe Empfindlichkeit besitzen.

Bei den folgenden Ausführungen bezeichne allgemein

K_z die Zugfestigkeit, bezogen auf den ursprünglichen Stabquerschnitt (f) in kg/qcm.

$K_{z,t}$ dieselbe, gültig für die Versuchstemperatur t.

σ_s die Spannung an der Streckgrenze in kg/qcm. (Eine scharf ausgeprägte Streckgrenze im eigentlichen Sinn des Worts besitzen bekanntlich nur Eisenmaterial innerhalb gewisser Temperaturgrenzen sowie einzelne Messingsorten. Die bei anderen Metallen zur Festlegung der Streckgrenze benutzten Annahmen sind im folgenden mitgeteilt, soweit die im Originalbericht enthaltenen Werte von σ_s Wiedergabe gefunden haben.)

φ die Bruchdehnung in Hundertteilen der Meßlänge.

φ_{90} die Bruchdehnung in Hundertteilen der Meßlänge von 90 mm.

φ_t die Bruchdehnung in Hundertteilen der Meßlänge bei der Versuchstemperatur t^0 C.

ψ die Querschnittsverminderung in Hundertteilen des ursprünglichen Stabquerschnitts (ψ_t gültig für Versuchstemperatur t^0 C.).

d Durchmesser des Probekörpers.

l, l′, l″ Längenabmessungen.

Die zeichnerische Darstellung der Versuchsergebnisse erfolgt im allgemeinen derart, daß zu den Versuchstemperaturen t als wagrechten Abszissen das Verhältnis der Eigenschaften desselben Materiales bei höherer und gewöhnlicher Temperatur, d. h. die Werte

$$\frac{\text{Zugfestigkeit bei Versuchstemperatur } t}{\text{Zugfestigkeit bei gewöhnlicher Temperatur } (20^0)} = \frac{K_{z,t}}{K_{z,20}}$$

$$\frac{\text{Bruchdehnung bei Versuchstemperatur } t}{\text{Bruchdehnung bei gewöhnlicher Temperatur } (20^0)} = \frac{\varphi_t}{\varphi_{20}}$$

$$\frac{\text{Querschnittsverminderung bei Versuchstemperatur } t}{\text{Querschnittsverminderung bei gewöhnlicher Temperatur } (20^0)} = \frac{\psi_t}{\psi_{20}}$$

aufgetragen werden. Als Einheit des Maßstabes dient also jeweils der Wert von K_z, φ und ψ bei Zimmerwärme. Diese Darstellungsart bietet den Vorteil, daß sich das Verhalten mehrerer Materialien derselben Art vergleichen läßt, auch wenn sie verschiedene Werte von K_z, φ und ψ bei gewöhnlicher Temperatur aufweisen.

Da es angezeigt schien, über die Versuchsergebnisse jeweils im Zusammenhang mit der Besprechung der Versuchsdurchführung zu berichten, so war eine Anordnung

[1]) Hier ist auch daran zu erinnern, daß Thermoelemente vor der Einwirkung gewisser Gase (bei dem Le Chatelier-Pyrometer sind dies namentlich Feuergase) zu schützen sind.

des Stoffes nach den einzelnen Metallen nicht möglich; um die Uebersicht in dieser Richtung zu erleichtern, sei bemerkt, daß sich finden Ergebnisse[1]) von Versuchen mit

Schmiedeisen, Stahl in Form von Rundstangen und Blechen unter: 1, 4, 5, 6, 7b, 7c, 10a, 10c, 10d, 11a, 11c, 13, 14f, 14g, 17 bis 19.
Gußeisen, Temperguß, Stahlguß unter: 10f, 14b, 14d, 14e.
Kupfer unter: 1, 4, 6, 7d, 8, 10a, 10e, 11c, 15, 16a.
Kupferlegierungen unter: 6, 8, 10a, 10b, 10f, 11b, 11c, 14a, 14c, 16b.
Zink unter: 7a, 11c.
Hartblei unter: 10f.

Die Versuche sind im folgenden soweit als tunlich zeitlich geordnet; Versuche desselben Urhebers sind jedoch in unmittelbarer Aufeinanderfolge besprochen worden, um Wiederholungen zu vermeiden.

Die in der Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1896 erschienene Abhandlung von Ledebur über die bis dahin bekannten Versuche über den Einfluß der Temperatur auf die Festigkeitseigenschaften der Metalle, insbesondere des Eisens, war bei der Abfassung der vorliegenden Arbeit von großem Nutzen, namentlich als Quellenangabe für die in früherer Zeit auf dem bezeichneten Gebiet entstandenen Untersuchungen.

1. Versuche des Franklin-Institutes, 1837.

Der Verfasser bedauert, auf diese anscheinend mit großer Sorgfalt durchgeführten Versuche nicht näher eingehen zu können, weil ihm der Originalbericht über dieselben nicht zugänglich ist[2]).

---

[1]) Angeführt sind in der Hauptsache die Zahlenwerte aus den Festigkeitsversuchen. Hinsichtlich der Einzelheiten muß im allgemeinen auf die ursprünglichen Arbeiten verwiesen werden.

[2]) In Engineering 1888, II, S. 125 ist folgendes mitgeteilt:

Verhalten von Kupfer

t° C.	Abnahme der Festigkeit %	t° C.	Abnahme der Festigkeit %
50	1,75	367	34,25
100	5,40	427	43,89
150	9,26	451	49,44
200	15,13	489	55,81
250	20,46	546	66,91
256	21,33	556	67,41
285	24,46	667	88,61
294	25,58	723	100,00

Nach Unwin (The testing of materials of construction S. 329 u. 299) fanden sich folgende Zahlen:

für Kupfer		für Schmiedeisen	
t° C.	K_z kg/qcm*)	t° C.	$(K_{z,t} : K_{z,20}) \cdot 100$
50	2290	— 18	96
150	2150	+ 38	102
285	1730	149	106
427	1310	260	104
548	770	372	92,5
1110	0	538	36

*) Bei der Umrechnung wurde die Tonne zu 1000 kg angenommen.

2. Versuche von Fairbairn, 1856.

(Nach „Useful information for engineers", 2nd series.)

Die mitgeteilten Ergebnisse zeigen so wenig Regelmäßigkeit, daß sie kaum zu allgemeinen Betrachtungen berechtigen. Dies rührt von den Mängeln des Probematerials sowie davon her, daß die in dem verwendeten Oelbade erzeugte Erwärmung der Probestäbe keine gleichmäßige war. Die Versuche erstrecken sich auf die Ermittelung der Bruchfestigkeit und Dehnung von Kesselblech und Nieteisen bei Temperaturen von — 34° bis + 220° C. und bei Rotglut.

3. Versuche von Knut Styffe, 1863.

(Die Festigkeitseigenschaften von Eisen und Stahl, deutsch von C. M. v. Weber, 1870.)

Der Wert dieser sorgfältig durchgeführten Untersuchungen wird durch verschiedene Umstände beeinträchtigt.

Erstens war das Probematerial in den einzelnen sowie in den verschiedenen gleichbenannten Stangen nicht gleichartig, so daß die Uebereinstimmung von Parallelversuchen keine gute ist. Außerdem waren die Querschnittsabmessungen der Versuchskörper im Vergleich mit der verhältnismäßig rohen Ausführung der Kraftmessung zu klein (0,7 bis 2 qcm) und zu schwer genau zu ermitteln, indem die Probestäbe gar nicht oder nur mittels der Feile bearbeitet waren.

Zweitens waren die Einspannvorrichtungen für Zugstäbe nicht einwandfrei: da die Einspannteile keine hinlängliche Beweglichkeit besaßen, konnten Biegungskräfte von Bedeutung auftreten.

Drittens ist die verwendete Vorrichtung und das Vorgehen zur Bestimmung des Dehnungskoeffizienten (Elastizitätsmoduls) nicht geeignet, Ergebnisse von großer Genauigkeit zu liefern und zwar aus folgenden Gründen:

1. Die Dehnungsmessung wurde nur auf einer Seite des Probestabes vorgenommen; der Einfluß der infolge des Eigengewichtes eintretenden Durchbiegung mußte rechnerisch verfolgt werden, was nur angenähert möglich ist.
2. Die Längsmessungen erfolgten mit Hilfe zweier Mikroskope, die an einer Stange aus Tannenholz befestigt waren. Diese wurde mit Oel getränkt, um gegen Aenderung der Luftfeuchtigkeit unempfindlich zu werden. Bei der erheblichen Länge der Stange von rund 1,5 m können dennoch Längenänderungen durch Feuchtigkeit und Temperaturschwankungen wohl in Betracht kommen. Besonders darf erwartet werden, daß sich solche Einflüsse bei den Versuchen in höherer Temperatur geltend gemacht haben, obwohl die Stangen zum Schutz gegen Wärmestrahlung (bezw. Abkühlung) durch Umhüllen mit Tüchern einigermaßen geschützt waren.
3. Die Ermittelung des Elastizitätsmoduls bei hohen und niedrigen Wärmegraden erfolgte durch Vergleich der Stablänge bei gewöhnlicher und geänderter Temperatur. Die Ausdehnung der Körper durch die Wärme mußte von der beobachteten Verlängerung abgezogen werden, um die elastische Dehnung zu erhalten. Hierbei war die Veränderlichkeit des Wärmeaus-

dehnungskoeffizienten mit steigender Temperatur zu berücksichtigen, was die Genauigkeit der angewandten Meßart beeinträchtigt.

So besitzen diese für ihre Zeit hochbedeutenden Versuche heute nur beschränkten Wert. Eine Wiedergabe der ermittelten Festigkeitszahlen ist infolge der starken auftretenden Unregelmäßigkeiten nicht tunlich. Die Versuche über die Veränderlichkeit des Elastizitätsmoduls bei steigender Temperatur können keine Verwertung finden, weil zu wenige Ergebnisse für ein und dasselbe Material vorliegen, und die Zuverlässigkeit der ermittelten Werte infolge der oben genannten Mängel in der Versuchsanordnung in Zweifel zu ziehen ist.

Die als Anhang dem Styffeschen Werke beigefügten Ergebnisse der Sandbergschen Schlagversuche mit Eisenbahnschienen leiden unter der starken Ungleichförmigkeit des Probematerials. Die allgemeinen Folgerungen aus denselben sind in der Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1896 zu finden. Es muß jedoch beachtet werden, daß die Uebereinstimmung der Ergebnisse bei Prüfung derselben Schienen bei gleicher Temperatur eine recht mangelhafte ist, und daß das verwendete Eisen vermutlich nicht frei von schädlichen Beimengungen war. Es ergaben sich z. B. für Schienen von Aberdare (Wales) als Vergleichszahlen für die Fallhöhen, welche zur Herbeiführung des Bruches erforderlich waren, die folgenden stark schwankenden Werte.

Schienenlänge	Temperatur ° C.				
	+ 2	— 12	+ 29	+ 2	— 12
21 Fuß	5 bis 45	5 und 11			
10,5 „			35 bis 56	5 bis 26	5 bis 18

4. Versuche von Charles Huston, 1878.

Eine Besprechung kann infolge Unzugänglichkeit des Originalberichtes nicht stattfinden [1]). Erzielt wurden die in folgender Tabelle zusammengestellten Mittelwerte. Die Probestäbe waren je derselben Platte entnommen, ihre Erhitzung erfolgte durch eine Blasrohrflamme (vergl. Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1886, S. 138). Die Versuchstemperatur wurde dadurch bestimmt, daß so lange Wärme zugeführt wurde, bis eine in einer Bohrung des Probestabes befindliche Legierung schmolz. Diese Legierung bestand für die Versuchstemperatur

300 ° C. aus 32,3 % Zn und 67,7 % Pb,
500 ° C. „ 24,5 % Ag „ 75,5 % Pb [2]).

[1]) Dasselbe gilt von den in der Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1889, S. 121 angeführten Versuchen von Parker. Dort finden sich für Kupfer folgende Ergebnisse, welche ungleichartiges Material oder große Unterschiede in der Versuchsdauer vermuten lassen.

Versuchstemperatur t ° C. .	12,5	52,5	119	133	150	150
Zugfestigkeit K_z kg/qcm . .	1950	1750	1500	1530	1700	1500

[2]) Nach neueren Versuchen besitzen diese Legierungen Schmelzpunkte von rund 250 bezw. rund 520 ° C. (s. z. B. Goerens, Einführung in die Metallographie S. 54 u. 55).

Ergebnisse.

Material	Versuchstemperatur t ° C.	Zugfestigkeit K_z kg/qcm	Querschnittsverminderung ψ %
Holzkohleneisen	20	3890	26,0
	300	4440	23,2
	500	4590	21,3
Besonders weicher Siemens-Martin-Stahl[1])	20	3830	47,0
	300	4640	37,7
	500	4510	33,5
Ingotstahl[1]), nicht härtbar	20	4490	36,3
	300	4870	30,0
	500	4830	21,3
Gußstahl, schwach härtbar	20	5510	26,7
	300	5820	16,1
	500	5430	20,1

Die Einzelwerte schwanken besonders für die drei ersten Materialien in erheblichem Maße. Nach den Ergebnissen liegt die Vermutung nahe, daß die Temperaturbestimmung mit bedeutenden Fehlern behaftet und die Erwärmung der Probestäbe keine gleichmäßige war. Soweit die angegebenen Werte ein Urteil zulassen, scheint angenommen werden zu dürfen, daß die ermittelten Temperaturen zu hoch sind, bezw. daß der Stab im Augenblick des Bruches weit niedriger erwärmt war, als beabsichtigt, indem andere Forscher bei 500° C. stets geringere Festigkeiten für Eisenmaterial ermittelten, als bei gewöhnlicher Temperatur, während hier für Siemens-Martin- und Ingotstahl das Gegenteil gefunden wurde.

5. Versuche von Dr. Kollmann.

Nach „Die Festigkeit des erhitzten Eisens". (Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes. 1880.)

Auch diese für ihre Zeit bedeutenden und in großem Maßstabe ausgeführten Versuche lieferten Ergebnisse, welche im Hinblick auf die mit den heutigen Hilfsmitteln erreichbare Genauigkeit auf große Zuverlässigkeit keinen Anspruch erheben können. Und zwar aus folgenden Gründen.

1. Die Temperaturbestimmung erfolgte bei den Rundstäben für Zugversuche kalorimetrisch derart, daß je zwei gleiche Stücke in derselben Weise zugleich erwärmt und gleichzeitig aus dem Wärmofen herausgenommen wurden. Während man nun das eine dem Zugversuch unterwarf, brachte man das andere in ein Kalorimeter zur Bestimmung seines Wärmewertes und damit seiner Temperatur. Der Wärmegrad am Ende des Versuchs (bei der Zugprobe) wurde entweder unmittelbar durch eine kalorimetrische Messung oder unter Benutzung einer vorher bestimmten Abkühlungskurve bestimmt. Als Versuchstemperatur galt das Mittel aus Anfangs- und Endtemperatur.

[1]) Bezw. Flußeisen.

Diese Art der Wärmemessung ist an und für sich ungenau, schon wegen der unvermeidlichen Verschiedenheiten der beiden Versuchskörper hinsichtlich Größe, Beschaffenheit und Wärmezustand sowie infolge der verschiedenen Abkühlungen, welche bei verschiedenen Temperaturen in gleichen Zeiten eintreten, bis der Körper zum Kalorimeter gelangt. Die Genauigkeit der Ergebnisse stört ferner der Umstand, daß die spezifische Wärme eines Materiales und insbesondere der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen nicht konstant ist, welcher Tatsache allerdings so gut als möglich Rechnung getragen wurde.

2. Es kann bei dieser Versuchsanordnung nicht darauf gerechnet werden, daß die Meßstrecke in allen Punkten gleiche Temperatur besitze. Selbst wenn dies unmittelbar vor dem Beginn der Untersuchung der Fall war, wird nämlich infolge des Einbringens des Probestabes in die Prüfungsmaschine an den Enden desselben Abkühlung hervorgerufen werden, welche sich jedenfalls auf einen Teil der Meßlänge ausdehnt.
3. Die Zeit, welche zum Zerreißen der Probestäbe angewendet wurde, ist eine unzulässig kurze. Sie betrug bei den Warmversuchen 0,4 bis 1 Minute, bei einer zylindrischen Länge des Probestabes von bis rund 230 mm. War auch dieses Vorgehen angezeigt bei der Art der verwendeten Wärmemessung, um möglichst geringe Abkühlung während des Versuches zu erhalten, so mußte es doch die Größe der ermittelten Bruchbelastung sowie besonders auch die bei der Bestimmung derselben erreichbare Genauigkeit und den Wert der Bruchdehnung wesentlich beeinflussen (vergl. die Arbeiten von Le Chatelier, S. 11 u. f.).

Die erhaltenen Ergebnisse zeichnen sich durch große Regelmäßigkeit aus. Mittelwerte der Zugfestigkeiten, welche bei verschiedenen Temperaturen gefunden wurden, sind im folgenden mitgeteilt.

Schweißeisen.

t ° C.	K_z kg/qcm	t ° C.	K_z kg/qcm	t ° C.	K_z kg/qcm
0	3750	400	2740	800	400
50	3750	450	2280	850	290
100	3730	500	1440	900	220
150	3650	550	860	950	190
200	3560	600	700	1000	150
250	3500	650	690	1050	130
300	3370	700	620	1100	120
350	3200	750	490	2250	0

Es erhellt, daß das verwendete Schweißeisen längst schmelzen mußte, ehe es eine Temperatur von 2250 ° C. annehmen konnte. Die verwendete Art der Wärmemessung wird eben umso unzuverlässiger, je höher die Versuchstemperatur liegt.

Feinkorneisen.

t ° C.	K_z kg/qcm	t ° C.	K_z kg/qcm	t ° C.	K_z kg/qcm
0	4000	450	2700	850	575
100	4000	500	1750	900	475
150	4000	550	1350	950	375
200	3990	600	1200	1000	290
250	3930	650	1100	1050	230
300	3870	700	920	1100	200
350	3710	750	800	2100	0
400	3400	800	690		

Die oben gemachte Bemerkung gilt sinngemäß auch hier.

Bessemereisen.

t ° C.	K_z kg/qcm	t ° C.	K_z kg/qcm	t ° C.	K_z kg/qcm
0	5900	350	4750	700	1050
50	5900	400	3220	750	910
100	5900	450	2410	800	790
150	5890	500	2000	850	650
200	5890	550	1750	900	540
250	5775	600	1500	950	475
300	5550	650	1250	1000	400

Von der Mitteilung der für Bessemerstahl erhaltenen Festigkeitszahlen, sowie von der Besprechung der Untersuchungen über die rückwirkende Festigkeit, welche sich mit den Kräften beschäftigen, die das Eisen während des Walzprozesses auszuüben vermag, soll abgesehen werden.

Die Ergebnisse unterscheiden sich namentlich insofern von andern, als Ansteigen der Festigkeit zwischen 100 und 300 ° C. nicht zu beobachten ist.

6. Versuche von A. Le Chatelier.

Nach Baumaterialienkunde 1901 (oder Communications présentés devant le Congrès international des méthodes d'essai des matériaux de construction. Paris 1901).

Diese Arbeit, welche sich auf Versuche stützt, die zu einem großen Teile schon in den Jahren 1888 bis 1892 durchgeführt worden sind, beschäftigt sich vornehmlich damit, den Einfluß festzustellen, welchen die Dauer der Belastung auf das Ergebnis von Materialprüfungen insbesondere bei Zugversuchen ausübt. Hier findet nur dasjenige Wiedergabe, was unmittelbar in den Rahmen der vorliegenden Arbeit gehört.

Die Erwärmung der Probestäbe erfolgte derart, daß die Abgase zweier Reihen von Gasbrennern die Stäbe umspülten. Die eigentliche Versuchsstrecke war auf 16 mm Durchmesser abgedreht und besaß eine Länge von 140 mm; geheizt wurde eine erheblich längere Strecke. Trotzdem ließen sich wohl Abkühlungen von den aus dem Ofen vorragenden Enden des Probekörpers her, welche in den Einspannköpfen der Zerreißmaschine befestigt waren, nicht vermeiden. Es scheint deshalb unzulässig, anzunehmen, der Stab habe auf der ganzen Versuchsstrecke gleiche Temperatur besessen. Die Bestimmung der letzteren erfolgte mit Hilfe eines Thermo-

elements[1]), das in der Mitte der Meßlänge nahe der Staboberfläche angebracht war. Um seine Lötstelle vor der Einwirkung der Heizgase zu schützen, mußte sie mit Asbest umwickelt werden; es besteht also Unsicherheit, ob die Temperatur der Lötstelle und diejenige der in ihrer Nähe befindlichen Stabteile übereinstimmten. Aus diesem Grunde kann der Beobachtung, daß bei Versuchstemperaturen bis zu 250° C. sich Wärmeunterschiede für die Meßlänge nicht ergaben, entscheidender Wert nicht zuerkannt werden, obwohl die Anstellung dieser Beobachtung als verdienstvolle Neuerung zu begrüßen und auch bei neuen Versuchen zu verlangen ist. Die hierbei gefundenen Temperaturdifferenzen dürften bei manchen der im folgenden beschriebenen Versuchseinrichtungen überraschende Größe besitzen. Außerdem ist bei der Le Chatelierschen Anordnung im Auge zu behalten, daß es nicht bei allen Materialien angeht, langanhaltende unmittelbare Berührung derselben mit warmen Abgasen zuzulassen.

Im folgenden sind kurz die Hauptergebnisse mitgeteilt.

Versuche mit Kupfer. (Baumaterialienkunde 1901, S. 211 u. 231.)

Versuchstemp. t ° C.	Belastungsdauer Minuten und Sekunden	Zugfestigkeit kg/qcm	Dehnung %[2])
15	4′	2310	47,0
110	9′	2040	41,0
200	— 45″	2040	38,0
200	1′ 50″	1860	35,0
200	10′	1790	36,0
330	2′ 15″	1570	37,9
330	10′	1520	34,4
330	20′	1470	31,1
430	8′	1270	17,8
440	— 56″	1060	21
440	2′	970	16,2
440	5′ 30″	820	12,9
440	17′ 30″	782	11,4
530	6′	720	16,4

Ein Vergleich ist infolge der wechselnden Belastungsdauer nicht angängig. Vergleichbare Versuche bei fortschreitender Last müssen übrigens, wie hier bemerkt werde, nicht sowohl gleiche Belastungsdauer als vielmehr gleiche Streckgeschwindigkeit aufweisen. Dabei ergeben sich dann umso größere Belastungszeiten, je erheblicher die Stabdehnung ausfällt.

Gewalztes Messing, rund 30% Zn.

t ° C.	Belastungsdauer	K_z kg/qcm	φ %
15	30′	3260	46,4
80	5′	3190	45,5
160	9′	3090	42,8
230	11′	2806	17,8
330	15′	2211	5,7
330	7′	1809	2,8

Bronze, 10% Sn und 3% Zn.

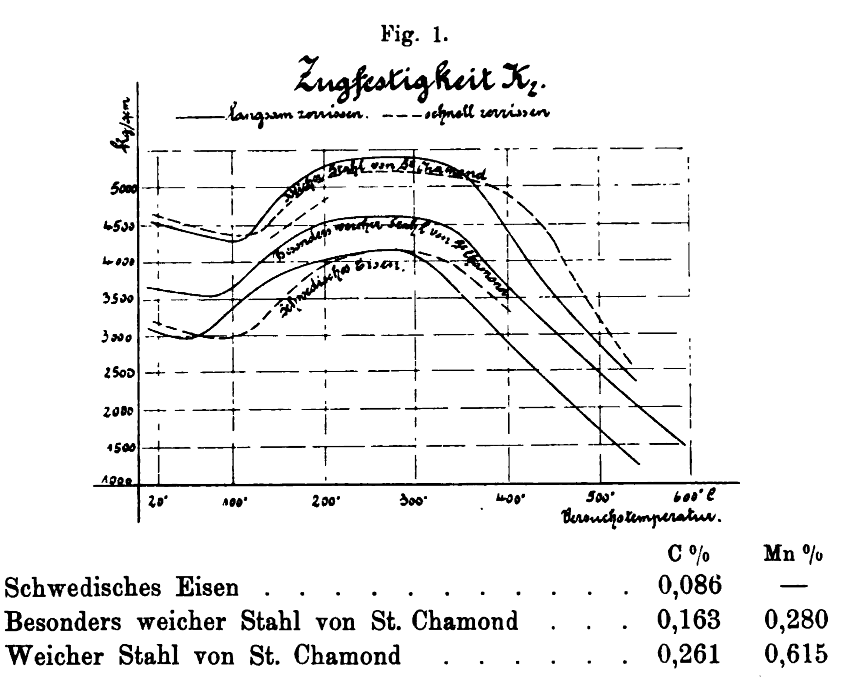
t ° C.	K_z kg/qcm	φ %
15	1590	5,7
140	1658	7,08
230	1443	3,9
250	1316	4,2
300	1204	2,0
350	1095	1,42
415	635	1,42

[1]) Nach Le Chatelier, bestehend aus Platin und Platin-Rhodiumdraht.

[2]) Die Dehnung ist bezogen auf eine Länge gleich $\sqrt{100\,f}$, wo f der Stabquerschnitt in Quadratmillimeter.

Ueber die Ergebnisse der Versuche mit Eisen gibt Fig. 1 Auskunft. Bemerkt werde, daß die Zusammensetzung der geprüften Materialien die folgende war.

Fig. 1.



	C %	Mn %
Schwedisches Eisen	0,086	—
Besonders weicher Stahl von St. Chamond . . .	0,163	0,280
Weicher Stahl von St. Chamond	0,261	0,615

7. Arbeiten vom Geheimen Regierungsrat Professor A. Martens.

(Nach den „Mitteilungen aus den K. Technischen Versuchsanstalten zu Berlin".)

a) Festigkeitsuntersuchungen mit Zinkblechen der Schlesischen Aktiengesellschaft für Bergbau und Zinkhüttenbetrieb zu Lipine. 1889, Ergänzungsheft IV.

Ausgeführt wurden Zugversuche bei Temperaturen bis 200 ° C.

Streifen, geprüft parallel zur Walzrichtung			Streifen, geprüft senkrecht zur Walzrichtung		
t ° C.	K_z kg/qcm	φ %	t ° C.	K_z kg/qcm	φ %
19	1370	12,2	27	1530	12,6
80	860	27,8	80	890	31,0
120	560	66,7	120	700	52,1
150	370	112,7	150	430	90,2
170	560	22,1	170	550	12,1
200	410	9,0	200	440	5,4

Die Erwärmung der Probestreifen erfolgte in einem Leinölbad; infolge der Gestalt des Gefäßes, welches das Wärmbad enthielt und von unten geheizt wurde, konnte die Temperatur während der Dauer des Versuchs nicht konstant und an

allen Punkten auf gleicher Höhe erhalten werden [1]). Hinsichtlich des Einflusses der Erwärmung auf die Festigkeitseigenschaften des untersuchten Materiales ergaben sich Mittelwerte für die Zugfestigkeit K_z und die Bruchdehnung φ gemäß der Tabelle S. 13.

Besondere Beachtung verdient das vorübergehende Sinken der Zugfestigkeit und gleichzeitige Steigen der Dehnung bei einer Versuchstemperatur von rund 150° C., eine Eigenschaft, welche bekanntlich bei Verarbeitung des Zinks ausgenutzt wird.

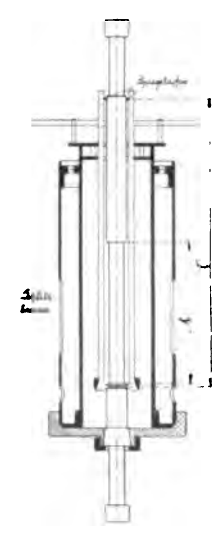
Von einer zeichnerischen Darstellung der ermittelten Werte soll hier abgesehen werden, wegen der verhältnismäßig geringen Bedeutung, welche das untersuchte Material für den allgemeinen Maschinenbau besitzt.

Von Interesse ist die bei den Versuchen beobachtete Erscheinung, daß für Zink der Einfluß der Belastungsdauer auch bei gewöhnlicher Temperatur ein bedeutender ist. Dies ist beim Vergleich der Ergebnisse verschiedener Forschungsarbeiten im Auge zu behalten.

b) Untersuchungen über den Einfluß der Wärme auf die Festigkeitseigenschaften des Eisens. 1890.

Diese Versuche wurden im Auftrage des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes und des Vereines deutscher Eisenhüttenleute mit drei Flußeisensorten (in Form von Rundstangen) angestellt; das erforderliche Material wurde vom Hörder Bergwerks- und Hüttenverein in Hörde sowie von der Union Aktiengesellschaft für Bergbau, Eisen- und Stahlindustrie in Dortmund angeliefert. Es wies im ausgeglühten Zustande Zugfestigkeiten von rund 3800 bezw. 4400 bezw. 4700 kg/qcm auf.

Fig. 2.



Die Probestäbe erhielten die aus Fig. 2 ersichtliche Form, welche sie befähigte, einen Ofen zu tragen, der mit geeigneten Flüssigkeiten gefüllt und von außen mittels Schlitzbrennern geheizt werden konnte. Für die Versuche bei — 20° C. wurde ein dem Ofen ähnliches doppelwandiges Zinkgefäß am Stabe befestigt und mit Kältemischung gefüllt.

Es wurde bestimmt:

1. durch Messung mittels des Martensschen Spiegelapparates, Meßlänge l′ (vergl. Fig. 2): die Dehnung für 1 t Belastung, der Elastizitätsmodul bei Zimmerwärme und der jeweiligen Versuchstemperatur, die Spannungen an der Proportionalitäts- und Streckgrenze, sowie die zu den beiden letzteren gehörigen Dehnungen;
2. aus den von der Maschine selbsttätig gezeichneten Schaubildern: die Spannungen an der Streck-, Trag- und Bruchgrenze und die zu den beiden letzteren gehörigen Dehnungen (zur Bestimmung der Dehnung an der Streckgrenze wurde die Genauigkeit des Schaubildes nicht für ausreichend erachtet, da die Dehnungen des Maschinengestells oder andere Einflüsse zu bedeutende Fehler verursachten);

[1]) Infolge der starken Veränderlichkeit der Festigkeitseigenschaften mit steigender Temperatur kann hierdurch unter Umständen Einfluß auf die Versuchsergebnisse, namentlich die absolute Größe der Dehnungswerte, ausgeübt werden.

3. durch unmittelbare Messung an der eigentlichen Versuchsstrecke von der Länge etwa gleich l (Fig. 2)[1]): die Dehnung nach dem Bruch auf 100 und 200 mm (je 50 bezw. 100 mm rechts und links vom Bruchquerschnitt) und die Querschnittsverminderung.

Bei Beurteilung der Anordnungen ist im Auge zu behalten, daß die verwendeten Einrichtungen einen entscheidenden Fortschritt bedeuten gegenüber den bisher beschriebenen, daß sie neu zu schaffen waren, ohne daß Anlehnung an bewährte Vorbilder möglich gewesen wäre. Das Verdienst, in solcher Weise bahnbrechend vorgegangen zu sein, kann, namentlich im Hinblick auf die große Menge von Schwierigkeiten, die hier zum ersten Male zu überwinden waren, nicht beeinträchtigt werden dadurch, daß im folgenden einige Einwände zu erwähnen sind. Gleichzeitig soll darauf hingewiesen werden, daß diese Versuche noch jetzt fast die einzigen sind, welche Angaben über die Größe des Dehnungskoeffizienten für Eisen bei verschiedenen Wärmegraden ermöglicht haben.

Bemerkung zu 1. Die Erwärmung bezw. Abkühlung der Stäbe erfolgte in dem aus Fig. 2 ersichtlichen Ofen, bezw. einem ähnlich gestalteten doppelwandigen Zinkgefäß. Als Füllmaterial diente bei den Warmversuchen bis 200 ° C. Paraffin, von 300 bis 600 ° C. ein Metallbad, für die Versuche bei — 20 ° C. eine Kältemischung.

Wie aus Fig. 2 hervorgeht, ragten beide Enden des Versuchsstabes sowie ein Stück der Meßlänge l′, deren Dehnungen bei den Feinmessungen ermittelt wurden, aus dem Bade hervor, sie wurden also nicht geheizt und erfuhren außerdem von den kalten Teilen der Prüfungsmaschine her Abkühlung. Dieser Wärmeunterschied mußte sich auch gegen den mittleren Teil des Versuchskörpers hin fortpflanzen. Die Erwärmung der Meßlänge war also keine gleichförmige (namentlich für l′, Fig. 2). Hierzu kommt noch, daß zwar beim Paraffinbade durch lebhaftes Umrühren dafür gesorgt werden konnte, daß die Temperatur des Bades an allen Stellen gleich hoch war, daß dieses Umrühren aber nach Angabe bei Verwendung von Metallbädern unterbleiben mußte, sofern man nicht auf Feinmessungen verzichten wollte, weil es derartige Schwankungen im Wärmezustand der Meßvorrichtung zur Folge hatte, daß die Spiegel nicht zur Ruhe kamen. Im Wärmbade stellten sich also bei Temperaturen über 200 ° C. Temperaturunterschiede ein; wie groß die durch dieselben bedingten Wärmeschwankungen in den einzelnen Teilen des Versuchskörpers waren, läßt sich nicht angeben, weil Messungen darüber nicht vorliegen. Mit der durch diese Umstände hervorgerufenen Ungleichförmigkeit in der Erhitzung der Meßlänge, auf welcher der Bruch erfolgen mußte, hängt es wohl zusammen, daß eine verhältnismäßig große Anzahl der Probekörper bei allen Versuchstemperaturen an einem Ende der Meßlänge oder sehr nahe demselben gebrochen ist. Der Bruch erfolgte bei — 20 °, + 100 ° und + 200 ° C. am unteren, bei + 400 °, + 500 ° und + 600 ° C. am oberen, bei 300 ° C. für eine Versuchsreihe am unteren, für die beiden anderen am oberen Ende der Strecke l.

Der Elastizitätsmodul für die betreffende Versuchstemperatur wurde bestimmt durch Messung der Verlängerungen der Strecke l′ infolge der aufgebrachten Belastung, indem angenommen wurde, die Spannung, damit auch die Dehnung sei dem Stab-

---

[1]) Bei den Stäben betrug die Länge l rund 206 mm, die Meßlänge 200 und 100 mm.

querschnitte in jedem Punkte umgekehrt proportional[1]). Dieses Vorgehen ist unzulässig, erstens weil ein Teil der Länge von l′ aus dem Ofen vorragte, also die Versuchstemperatur nicht besaß, abgesehen von der oben erwähnten Ungleichförmigkeit in der Erwärmung des Probestabes, zweitens weil bei der gewählten Form des Versuchsstabes innerhalb der den Feinmessungen zu Grunde gelegten Strecke l′ Stetigkeitsunterbrechungen des Stabquerschnittes vorhanden sind. An solchen Stellen ist die Kraftübertragung, damit auch die Dehnung keine stetige. Ganz besonders gilt das für den Querschnitt, wo die unteren Schneiden der Meßvorrichtung angesetzt sind und zu diesem Zwecke eine Eindrehung im Stabe vorgesehen ist.

Vor dem Beginn jedes Versuches bezw. der Spiegelablesungen wurde der Beharrungszustand in der Erwärmung der ganzen Meßvorrichtung abgewartet und derselbe dann als eingetreten erachtet, wenn keine Aenderung an den Anzeigen der Kraftwage und der Spiegel des Martensapparates mehr festgestellt werden konnte. Hierauf wurde mit den Belastungsänderungen begonnen. Im Verlaufe eines Versuches lassen sich nun im allgemeinen Temperaturschwankungen im Wärmbad, im Probestab und in den Teilen der Meßvorrichtung auch bei der sorgfältigsten Durchführung schwerlich ganz vermeiden. Die Anzeigen der Spiegelapparate enthalten daher in der Regel neben den Werten, welche der Stabdehnung infolge Belastung entsprechen, auch Beträge, welche von Wärmedehnungen im Probestab oder in der Meßvorrichtung herrühren. Diese dürfen nun die Größe des Elastizitätsmoduls bezw. Dehnungskoeffizienten nicht beeinflussen. Der einzige Weg, um dies zu erreichen, ist, daß man so oft zwischen je zwei bestimmten Belastungen wechselt, bis sich die Werte der gesamten, bleibenden und federnden Dehnungen nicht mehr ändern. Wie aus folgender Betrachtung hervorgeht, entfällt dann die gesamte Wärmeausdehnung auf den Wert der bleibenden Verlängerung, während die gefundene Federung nur vom elastischen Verhalten des Materiales abhängt: Bei einer gewissen Belastungsstufe, bei welcher der Apparat für die gesamten Verlängerungen für die größere Belastung den Wert G und für die kleinere den Wert B anzeigt, habe sich eine Ablesungsänderung durch Erwärmung u. s. f. vom Betrag $\pm \Delta t$ eingestellt. Die der Belastungsstufe entsprechende federnde Dehnung (Federung) beträgt dann unter Berücksichtigung des Maßstabes

$$(G \pm \Delta t) - (B \pm \Delta t) = G - B,$$

d. h. ebensoviel, wie wenn eine vorhergegangene Ausdehnung durch die Wärme nicht stattgefunden hätte. Erzielt man bei mehrmaligem Belastungswechsel denselben Wert von G, B und G — B, so ist sicher der Einfluß von Wärmeschwankungen auf die Größe des Dehnungskoeffizienten ausgeschieden. Soviel dem Bericht über die genannten Versuche zu entnehmen ist, wurden solche Belastungswechsel nicht vorgenommen[2]).

Mit Rücksicht auf diese Bemerkungen kann den in den folgenden Tabellen enthaltenen Werten des Elastizitätsmoduls vollkommene Zuverlässigkeit nicht zuerkannt werden. Ebenso werden den ermittelten Größen von Zugfestigkeit, Bruch-

---

[1]) Diese Annahme setzt Proportionalität zwischen Dehnung und Spannung voraus.

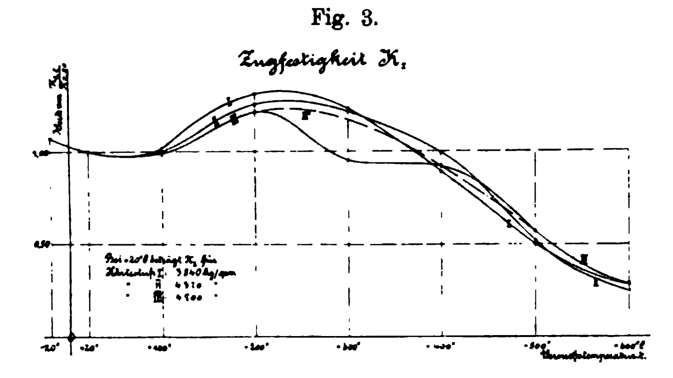
[2]) Gegen dieses Vorgehen läßt sich der Einwand erheben, daß durch den Belastungswechsel die Lage der Proportionalitätsgrenze u. s. f. verschoben wird. Mit Rücksicht darauf, daß in Maschinenteilen stets mehr oder minder große Kraftschwankungen eintreten, dürfte diesem Umstande jedoch wesentliche Bedeutung nicht zukommen.

dehnung und Querschnittsverminderung nach Maßgabe der Ungleichförmigkeit der Erwärmung der Versuchsstrecke gewisse Mängel anhaften, wobei jedoch der Fortschritt, den die hier verwendete Anordnung den früheren gegenüber bedeutet, keineswegs verkannt werden soll.

Bemerkung zu 2. Bei der Bestimmung der Dehnung aus dem von der Maschine verzeichneten Schaubilde wird die bei diesem Verfahren stets vorhandene Unsicherheit hier vergrößert durch die Unregelmäßigkeit der Form des Probestabes und die dadurch erforderliche Umrechnung der dem Diagramm entnommenen Werte auf die Strecke von 200 mm Länge.

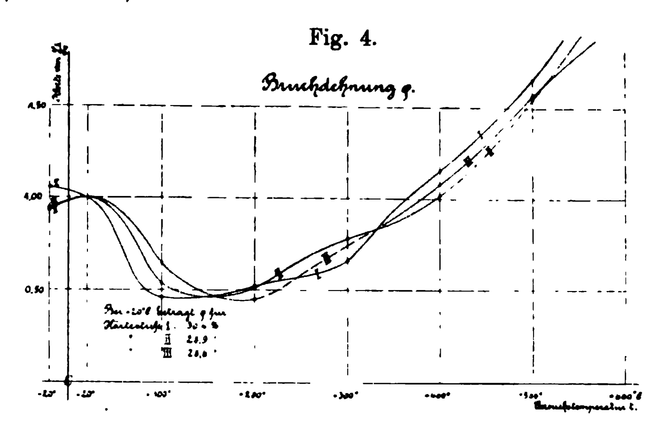
In der folgenden Zusammenstellung sind Mittelwerte für die Zugfestigkeit K_z, die Spannung an der Streckgrenze σ_s, die Bruchdehnung φ (200 mm) und die Quer-

Fig. 3.



schnittsverminderung ψ sowie für den Elastizitätsmodul bei Zimmerwärme (E) und bei Versuchstemperatur (E_t) angegeben. Die zeichnerische Wiedergabe erfolgt in den Figuren 3, 4 und 5, mit Ausnahme der Werte des Elastizitätsmoduls.

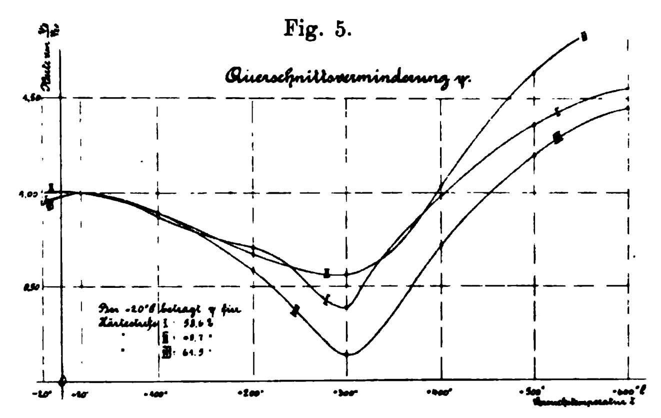
Fig. 4.



Eine Betrachtung der Linienzüge in Fig. 3 läßt erkennen, daß sich die Materialien der Härtestufe I und II ganz ähnlich verhalten, während dasjenige der Härtestufe III für die Versuchstemperatur 300 ° C. wesentlich von den beiden anderen abweicht. Die zugehörigen Versuchsstäbe sind nun ganz am unteren Ende von l zerrissen, so daß die Vermutung naheliegt, der Bruch sei vorzeitig eingetreten. Läßt man aus diesem Grunde den für Härtestufe III bei 300 ° C. gefundenen Festigkeitswert außer acht und verbindet man die übrigen Punkte durch einen stetigen

Linienzug, so weicht die so erlangte Kurve III′ nur wenig von den Linien I und II ab. Es erscheint demnach zulässig, für das untersuchte Material hinsichtlich der Zugfestigkeit eine mittlere Kurve anzunehmen, welche das Verhalten bei höheren Temperaturen hinreichend genau kennzeichnet.

Fig. 5.



Wie die Figuren 4 und 5 zeigen, läßt sich eine solche Durchschnittslinie für das untersuchte Material auch hinsichtlich der Dehnung [1]), weniger sicher jedoch mit Bezug auf die Querschnittsverminderung aufstellen.

Zusammenstellung der Ergebnisse.

t ° C.	σ_s kg/qcm	K_z kg/qcm	φ_{200} %	ψ %	E	E_t	
			Härtestufe I.				
— 20	2470	4120	31,9	55,8	2 120 000	2 120 000	Hinsichtlich der im Original-bericht vorhandenen Bemerkungen über die Zuverlässigkeit der einzelnen Werte u. s. f. muß auf diesen selbst verwiesen werden.
+ 20	2200	3840	30,4	58,6	2 070 000	2 070 000	
+ 100	2000	3910	14,1	50,9	2 030 000	1 990 000	
+ 200	1990	5030	15,8	41,5	2 050 000	1 950 000	
+ 300	1560	4740	20,0	22,9	2 070 000	1 880 000	
+ 400	1130	3410	35,0	57,5	2 050 000	1 790 000	
+ 500	—	1930	50,3	79,6	2 110 000	1 510 000	
+ 600	320	1070	76,7	90,5	2 100 000	1 340 000	
			Härtestufe II.				
— 20	2680	4670	26,8	48,7	2 090 000	2 100 000	
+ 20	2600	4370	28,9	48,7	2 100 000	2 100 000	
+ 100	2460	4390	15,6	43,7	2 070 000	2 070 000	
+ 200	2290	5480	14,8	33,2	2 070 000	1 950 000	
+ 300	—	5290	22,6	27,6	2 100 000	1 930 000	
+ 400	1430	4320	29,5	50,6	2 110 000	1 830 000	
+ 500	—	2260	44,9	79,5	2 090 000	1 520 000	
+ 600	—	1090	67,3	96,0	2 110 000	1 200 000	
			Härtestufe III.				
— 20	2850	5010	26,9	57,5	2 080 000	2 100 000	
+ 20	2860	4700	28,6	61,5	2 040 000	2 040 000	
+ 100	2610	4670	18,6	55,4	2 090 000	2 040 000	
+ 200	2550	5700	12,9	36,3	2 090 000	1 990 000	
+ 300	2130	4470	—	8,5	2 120 000	1 910 000	
+ 400	1570	4320	30,9	44,5	2 100 000	—	
+ 500	1200	2660	44,8	74,1	2 110 000	1 540 000	
+ 600	—	1340	56,9	89,3	2 100 000	1 440 000	

[1]) Die Dehnung bei 300 ° ist für das Material der Härtestufe III nicht ermittelt worden.

c) Ueber Materialprüfung durch Schlagversuche. 1891.

Hier kommt nur derjenige Abschnitt der genannten Arbeit in Betracht, welcher über Stauchversuche bei hohen Wärmegraden handelt.

Als Probematerial gelangte das zu den unter b) angeführten Versuchen benutzte Flußeisen (Rundstangen) in drei verschiedenen Härtegraden zur Verwendung. Die Erwärmung der Proben erfolgte vor dem Versuch und zwar in einem neben dem Fallwerk aufgestellten Paraffin- bezw. Metallbade. Nach eingetretener Durchwärmung wurde der Versuchskörper herausgenommen, schnell abgewischt, unter den Fallhammer gebracht und dieser sofort ausgelöst, so daß die Probe sich nur während möglichst kurzer Zeit abkühlen konnte. Trotzdem sank die Temperatur der bei 400° C. geprüften Stücke während der Dauer des Versuchs um rund 32°, wie durch kalorimetrische Messung angenähert bestimmt wurde. Bedenkt man, daß bei dieser Temperaturbestimmung der mittlere Wärmegrad eines Körpers gefunden wird, daß sich die Probestücke jedoch an den mit kalten Teilen des Schlagwerks und mit der umgebenden Luft in Berührung stehenden Flächen verhältnismäßig schneller abkühlen als in den mittleren Querschnitten, so erkennt man, daß bei 400° C. Prüfungstemperatur einzelne Stellen des Versuchskörpers Abkühlungen von mehr als 32° C. erfahren haben werden, daß zu erwarten steht, die dem Schlage unmittelbar ausgesetzten Teile seien kühler als das übrige Probestück. Die hervorgebrachte Zusammendrückung zeigt deshalb abweichende Größe und verteilt sich anders, als wenn der Körper eine gleichmäßige, mittlere Temperatur besitzen würde. Mit Rücksicht hierauf scheint es bei einer Versuchsanordnung, wie die oben beschriebene, nicht tunlich, für das Probestück eine mittlere Temperatur anzugeben, weil die Ergebnisse, je nach der Art der Wärmeverteilung, bei gleichem Wärmeinhalt des Versuchsstückes unter Umständen bedeutende Unterschiede aufweisen können.

Für die Versuche, deren Ergebnisse angeführt sind, beträgt:

das wirksame Bärgewicht	56,26	kg
die Fallhöhe	2,0	m
die Arbeitsleistung für einen Schlag . . .	112,5	mkg
die ursprüngliche Höhe des Probekörpers .	∾ 30	mm
der ursprüngliche Durchmesser desselben .	∾ 30	mm.

In der folgenden Tabelle sind die Werte der Höhe des Versuchskörpers nach dem zehnten Schlage in Hundertteilen der ursprünglichen Größe dieser Abmessung angegeben.

Temperatur t ° C.	Härtestufe I	Härtestufe II	Härtestufe III
20	55,15	58,35	61,40
200	56,65	60,50	62,50
300	52,30	55,85	59,50
400	50,30	55,05	58,45

Hiernach wächst die Widerstandsfähigkeit gegen Stauchung für das untersuchte Material mit steigender Temperatur, um nachher wieder abzunehmen, in ähnlicher Weise wie das unter b) für die Zugfestigkeit ermittelt worden war.

d) Bericht über die Ergebnisse von Vorversuchen über die Festigkeitseigenschaften von Kupfer. 1894.

Ueber einen Teil der im genannten Bericht mitgeteilten Versuchsergebnisse finden sich Angaben unter 10a. Hier sollen daher nur die Ergebnisse von Stauch-

versuchen mit Kupferwürfeln Erwähnung finden. Die Anordnung ist dieselbe wie bei den unter c) angeführten Stauchversuchen mit Flußeisenkörpern. Die dort erhobenen Einwände gelten daher auch hier. Ein Teil der Ergebnisse ist in folgender Tabelle zusammengestellt. Dieselbe enthält die Werte der Höhen der Versuchskörper nach dem zweiten Schlage (spezifische Schlagarbeit im ganzen 60 mkg/ccm) in Hundertteilen der ursprünglichen Höhe.

Versuchstemperatur ° C.	20	100	200	300	350	400	450	500
Blech im Anlieferungszustande; Würfel 10 . 10 . 10 mm	29,4	28,7	24,5	19,6	17,6	15,7	15,8	14,9
Blech von 12 auf 10 mm Dicke gehämmert; Würfel 10 . 10 . 10 mm . .	31,7	28,7	25,7	19,8	19,8	18,8	15,8	14,9
Blech von 12 auf 7 mm Dicke gehämmert; Würfel 7 . 7 . 7 mm	32,9	29,2	26,4	19,5	20,8	18,1	15,3	15,3

Zu bemerken ist noch, daß in der besprochenen Abhandlung wohl zum ersten Male die Bedeutung von Dauerbelastung bei Warmversuchen mit Kupfer betont worden ist, indem ausgesprochen wird:

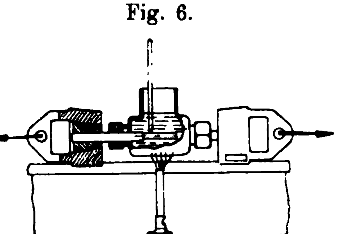
„Ich will hier nochmals auf die große Wichtigkeit der Ausführung von Dauerversuchen mit Kupfer im erhitzten Zustande verweisen. Erst die Ergebnisse solcher Versuche können uns zuverlässigen Anhalt für die Größe der zulässigen Inanspruchnahme von Kupfer in stark beanspruchten Kochgefäßen liefern.“

8. Versuche von Unwin.

(Nach The testing of materials of construction, 2nd ed. 1899.)

Der Verfasser des angeführten Werkes berichtet über seine bekannten eigenen Versuche bei verschiedenen Wärmegraden, von denen ein Teil schon im Jahre 1889 der British Association vorgelegt wurde.

Fig. 6.



Die verwendete Versuchsanordnung zeigt Fig. 6; die Abmessungen der Meßstrecke waren:

Länge $l = 2'' = \backsim 50$ mm,

Durchmesser $d = {}^{1}/_{4}''$ bezw. ${}^{5}/_{16}'' = \backsim 6$ bezw. 8 mm.

Der Probestab ragt an beiden Enden über das Wärmbad (Oel) hinaus und berührt die nicht geheizten Einspannteile der Zerreißmaschine. Es kann daher infolge der Wärmeableitung nicht darauf gerechnet werden, daß der Versuchskörper die Temperatur des Oelbades, welche jeweils gemessen wurde, vollkommen und gleichmäßig annimmt.

Ungenauigkeiten in der Kraftmessung sind durch die am Ofen angebrachten Stopfbüchsen ermöglicht. Die Größe derselben hängt vom Grade des Anziehens der Ueberwurfmutter ab und wird im allgemeinen vernachlässigt werden dürfen.

Die Heizvorrichtung ist ähnlich der von Martens bei seinen Versuchen mit Zink (7 a) angewendeten. Die von dem letzteren beobachteten Temperaturunterschiede im Bade werden sich auch bei den Versuchen von Unwin eingestellt haben.

Zu bemerken ist noch, daß bei „Gun metal“ eine Anzahl von Probestäben sich als fehlerhaft erwies und daher nachträglich durch neu hergestellte ersetzt werden mußte.

Zusammenstellung der Ergebnisse.

Material	Durchmesser mm	t ° C.	K_z kg/qcm [1]	φ_{50}%	ψ %
Yellow brass (Messing)	7,8	∾ 20	3740	41,0	61,0
	7,8	126	3480	30,5	28,0
	7,8	205	3290	19,0	10,0
	7,9	260	2850	5,0	Sehr klein
	7,8	317	2460	2,5	„ „
	7,8	338	2250	1,0	„ „
Deltametall, gewalzt	6,3	20	4830	20,0	55,0
	6,2	127	4390	22,0	47,0
	6,3	205	4120	25,0	53,0
	6,3	260	3700	27,9	59,0
	6,2	299	3000	38,5	60,0
	6,1	344	2490	33,0	48,0
Muntzmetall	7,7	20	3830	35,0	59,6
	7,8	149	3540	28,5	41,2
	7,9	205	3230	37,5	55,1
	7,9	260	2920	28,5	38,4
	7,8	316	2590	17,0	19,2
	7,9	344	2660	16,0	Sehr klein
Gun metal (Rotguß)	9,5	99	1810	10,0	15,8
	9,5	194	1900	17,0	18,2
	9,5	208	1715	12,5	12,8
	7,8	227	1910	16,5	7,6
	9,5	260	1215	13,0	14,8
	9,5	316	810	1,5	2,1
	9,5	316	1215	—	Sehr klein
	7,9	324	750	—	„ „
Cast brass (Gegossenes Messing)	9,5	20	1930	24,0	16,4
	9,5	177	1840	27,5	23,4
	9,5	232	1610	23,0	22,5
	9,5	260	1190	11,5	16,2
	9,5	288	1190	13,5	17,8
	9,5	341	500	—	Sehr klein
Phosphorbronze	7,9	20	2490	13,5	10,0
	7,9	132	2200	12,5	12,4
	7,9	175	1900	7,5	10,0
	7,9	221	1925	10,5	8,7
	7,9	260	1720	6,0	6,3
	7,9	316	1270	3,5	2,5
Kupfer, gewalzt	7,9	20	2760	10,0	49,2
	7,9	99	2700	9,0	49,7
	8,0	149	2550	8,0	49,5
	7,9	210	2470	9,0	50,6
	7,9	260	2340	7,0	37,7
	8,0	316	2220	4,0	22,2
	7,9	316	2200	5,0	17,4
	7,9	338	2125	4,5	17,1
Deltametall, gegossen	7,9	20	3120	4,5	6,3
	7,9	20	2830	4,0	7,0
	7,9	154	3620	7,0	11,8
	7,9	210	3490	9,0	13,0
	7,9	264	3050	16,0	22,3
	7,9	310	2480	4,0	9,4
	7,9	335	1970	45,0	45,7

[1]) Bei der Umrechnung wurde die Tonne zu 1000 kg angenommen.

Die Ergebnisse der an derselben Stelle erwähnten Versuche, welche die englische Admiralität im Jahre 1877 ausführen ließ, werden hier nicht mitgeteilt. Erstens, weil die Probekörper zum Versuch aus dem Wärmbad (Oel) herausgenommen, zweitens, weil sie sehr schnell (in einer Minute) zerrissen wurden. Dem zweiten Punkt kommt erhebliche Bedeutung zu, da es sich um Festigkeitsversuche mit Körpern aus verschiedenen Kupferlegierungen handelt, für welche der Einfluß der Belastungsdauer in höheren Wärmegraden ein sehr großer zu sein pflegt.

Wegen zu weitgehender Einfachheit der Versuchsdurchführung können ferner die Untersuchungen Barnabys nicht behandelt werden. Die Proben wurden bei denselben in Oel oder Sand erwärmt, zur Prüfung aus der Wärmmasse herausgenommen und möglichst schnell zerrissen. Die Temperaturbestimmung erfolgte durch Beobachtung der Farbe des Bruches, manchmal auch dadurch, daß man versuchte, ob Zinn oder Blei in Berührung mit den Stäben zum Schmelzen gebracht wurde.

9. Versuche von James Howard. (Iron Age 1890.)

Da der Originalbericht dem Verfasser nicht zugänglich ist, so muß hier auf denselben verwiesen werden unter Hervorhebung, daß die Versuche hinsichtlich der Ermittelung des Elastizitätsmoduls (Dehnungskoeffizienten) unzureichend, dagegen in Bezug auf die Feststellung der Zugfestigkeit bei Temperaturen bis etwa 400° ziemlich zuverlässig zu sein scheinen, obwohl die Verlängerung, welche die Stäbe beim Erhitzen aufwiesen, zur Wärmemessung verwendet wurde, trotzdem die Ausdehnungs-Koeffizienten der geprüften Stoffe nur für Wärmegrade bis etwa 100° C. ermittelt worden waren. Dieses Verfahren ist an und für sich nicht geeignet, genaue Temperaturbestimmungen zu liefern, hat aber den Vorteil, daß der durchschnittliche Wärmegrad des Probestabes selbst in Betracht gezogen wird.

Schaulinien für die Ausdehnung der Versuchsmaterialien durch die Wärme, für Zugfestigkeit und Dehnung derselben in Abhängigkeit von der Versuchstemperatur sind in der Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1891, S. 388 f. wiedergegeben.

10. Arbeiten von Professor M. Rudeloff.

(Nach den Mitteilungen aus den K. Technischen Versuchsanstalten zu Berlin.[1])

a) Untersuchungen über den Einfluß der Wärme auf die Festigkeitseigenschaften von Metallen. 1893.

Die Erwärmung der Probestäbe erfolgte bis zu 300° C. Versuchstemperatur in einem neukonstruierten Ofen, dessen Anordnung Fig. 7 erkennen läßt. Bei 400° C. fand der Ofen Fig. 2 Anwendung.

[1]) Auf die wertvollen Arbeiten von Prof. Roberts-Austen (Engineering 1893, S. 629 f.) sei hier nur verwiesen. Die Probestäbe (Kupfer) waren von einem außen beheizten Kupferzylinder umgeben, der an beiden Enden geschlossen war, um Luftströmung zu verhüten. Die Beschreibung der Versuchseinrichtung am genannten Orte ist nicht vollständig, so daß ein Urteil darüber, ob sich die von Stribeck (s. S. 61) beobachteten Temperaturunterschiede in ähnlichem Grade eingestellt haben, nicht erlangt werden kann. Wertvoll sind die Untersuchungen von Roberts-Austen über den Einfluß von Arsen und Wismut auf die Festigkeitseigenschaften von Kupfer (S. 660 der genannten Zeitschrift).

In dem neuen Ofen werden strömende Dämpfe als Heizmittel verwendet, vermutlich aus dem Grunde, weil bei dieser Anordnung Wärmeunterschiede, wie sie sich bei flüssigen Wärmebädern einstellen, ausgeschlossen scheinen. Auch die verwendete Feinmeßvorrichtung (s. unten) ist als durchaus neuartig hervorzuheben und läßt die Absicht erkennen, empfindliche Teile der Einwirkung der Wärme zu entziehen. In beiden Hinsichten waren die von Martens verwendeten Einrichtungen einer Vervollkommnung fähig, wie früher bemerkt wurde. Obwohl nun die neue Anordnung nicht gänzlich befriedigt zu haben scheint — sie wurde bei späteren Versuchen desselben Forschers verlassen —, so ist doch hervorzuheben, daß auf dem eingeschlagenen Wege bei entsprechenden Abänderungen eine vollkommene Lösung der Aufgabe, eine Vorrichtung zur Prüfung von Zugstäben bei höherer Temperatur und zur Ermittelung ihrer elastischen Eigenschaften zu schaffen, sich wird erreichen lassen. Im folgenden sind einige Bemerkungen enthalten, zu denen die Betrachtung der Konstruktion Veranlassung gibt, und welche zu einem Teil beim Entwurf neuer Vorrichtungen zu berücksichtigen wären.

Fig. 7.

Die Heizung bei 100° C. erfolgte durch Wasserdampf, der bei a (Fig. 7) einströmte und bei b austrat. Der Dampf mußte also über die Kanten der Rohre R_2 und R_1 hinwegströmen und in den eigentlichen Heizraum gleichmäßig verteilt eintreten. Da aber der Dampf nicht überhitzt war und, um erwärmen zu können, Wärme abgeben mußte, so trat an dem Probestab Niederschlag auf, welcher abwärts fließen und den unteren Teil von l'' mehr abkühlen mußte als den oberen. Abkühlung der Köpfe des Probestabes konnte ferner durch die fast gar nicht geheizten Muttern erfolgen, so daß die Enden von l'' kühler gewesen sein werden als die Mitte.

Bei 200° C. wurden Dämpfe von Naphthalin und bei 300° C. solche von Naphthylamin verwendet. Dabei war die erzeugte Niederschlagsmenge so groß, daß Rohr R_1 und R_2 entfernt und eine besondere Ablaßleitung (in Fig. 7 nicht ersichtlich) angeordnet werden mußte. Nach dieser Abänderung werden die Dämpfe von a nach b den kürzesten Weg eingeschlagen, den Heizraum also nicht mehr so gleichförmig wie zuvor durchstrichen haben.

Die Feinmessungen erfolgten mittels der in Fig. 7 angedeuteten Vorrichtung, bei welcher die empfindlichen Teile der unmittelbaren Einwirkung der Wärmestrahlung möglichst entzogen sind. Die Wirkungsweise ist folgende.

Die gegenseitigen Bewegungen der Spitzen der Meßstifte s und s' übertragen sich mit Hilfe der Querstücke c und d sowie der Stangen t auf den Körper h. Dieser trägt zwei Spitzen. Die eine derselben steht auf der polierten Oberfläche von s', die andere auf dem gleichfalls polierten Ring g auf, welcher infolge der Umführungsteile c, d und t gezwungen ist, die Bewegungen des Stiftes s auszuführen. Ueber einer seiner zwei Spitzen trägt h eine Spiegelachse. Der auf ihr sitzende Spiegel führt also eine der gegenseitigen Bewegung von

s bezw. g und s' entsprechende Drehung aus, deren Größe in der üblichen Weise beobachtet wird.

Die Bewegungen von g werden hervorgebracht durch die Dehnungen des Stabes zwischen den Spitzen von s und s', welche gemessen werden sollen, sowie durch etwaige Längenänderungen der Stangen s und t oder Verbiegungen der Querstücke c und d. Bei Warmversuchen scheinen solche Längenänderungen und Verbiegungen infolge wechselnder (manchmal einseitiger) Erwärmung und Abkühlung schwer ganz zu vermeiden. Um die Werte der federnden Probestabdehnungen von Einflüssen dieser Art unabhängig zu erhalten, wäre das auf S. 16 besprochene Belastungswechselverfahren anzuwenden gewesen.

Auch bei den vorliegenden Versuchen war eine Umrechnung der auf der Meßlänge l' angestellten Feinmessungen auf die Länge l'' (vergl. Fig. 7) erforderlich, wobei angenommen wurde, Spannungen und Dehnungen verhalten sich umgekehrt wie die Stabquerschnitte, was zur Voraussetzung hat, daß zwischen Dehnung und Spannung Proportionalität besteht.

Ein Vergleich mit der auf Fig. 2 dargestellten Probestabform zeigt deutlich, daß diese Umrechnung hier von weit geringerem Einfluß auf das Ergebnis sein kann, weil l' und l'' nicht sehr verschieden und namentlich l' auf seine ganze Erstreckung geheizt ist.

Um die Zulässigkeit der Umrechnung zu prüfen, sind bei gewöhnlicher Temperatur Kontrollmessungen ausgeführt worden derart, daß die Verlängerungen von l' mittels der beschriebenen neuen Vorrichtung und diejenigen von l'' mittels eines Martensschen Spiegelapparates bestimmt wurden. Aus der ersteren Messung berechnete man in der angedeuteten Weise die für l'' zu erwartende Dehnung und verglich sie mit der unmittelbar gemessenen Größe.

Fig. 8.

Die im Originalbericht mitgeteilte Tabelle ist auf S. 25 wiedergegeben.

Der Zweck der Kontrollmessungen scheint insofern nicht völlig erreicht, als auch die mit demselben Apparat an Stäben gleichen Materiales ermittelten Zahlen zum Teil erhebliche Abweichungen voneinander zeigen, indem die größten Unterschiede betragen bei Messung

	mit dem neuen Apparat %	mit dem Martensapparat %
Material Schweißeisen . . .	1,5	rund 2
„ Martinstahl	4,5	0
„ Manganbronze . . .	—	rund 5

Außerdem erscheint die Zulässigkeit der vorgenommenen Umrechnung dadurch in Frage gestellt, daß der Wert des Verhältnisses $\frac{\lambda_{110}}{\lambda_{90}} \cdot 100$ sich nicht konstant ergibt, was der Fall sein müßte, wenn Umrechnung zulässig wäre. Auch der Einfluß, welchen die Erwärmung der Probestäbe äußern kann, bleibt unberücksichtigt.

Bei den Versuchen mit 400° C. Versuchstemperatur kam, wie erwähnt, der in Fig. 2 dargestellte Ofen zur Anwendung. Die Probestäbe erhielten die aus Fig. 8 ersichtliche Form und wurden durch Verlängerungsstücke gefaßt, welche in den Ofen

Vergleichende Untersuchungen mit den Spiegelapparaten der alten und neuen Anordnung.

Material	Stab Nr.	Mittlere beobachtete Verlängerung für je 100 kg Belastungszuwachs: neuer App. λ_{110}[1]) $^1/_{5000}$ mm	alter App. λ_{90}[1]) $^1/_{10000}$ mm	Verhältniszahl für die Umrechnung von λ_{110} auf λ_{100}	Verlängerung für je 100 mm, berechnet aus λ_{110}[1]) $^1/_{10000}$ mm	λ_{90}[1]) $^1/_{10000}$ mm	Mittleres Verhältnis $\frac{\lambda_{110}{}^1)}{\lambda_{90}} \cdot 100$
Schweißeisen	6	—	58,0	—	—	64,4	98,2
	11	—	57,0	—	—	63,3	
	2	32,0	—	1,034	62,0	—	
	7	32,5	—	1,034	63,0	—	
	12	32,5	—	1,034	63,0	—	
	Mittel:	32,3	57,5	1,034	62,7	63,9	
Martinstahl	16	31,0	—	1,034	60,0	—	97,8
	21	—	56,0	—	—	62,2	
	26	—	56,0	—	—	62,2	
	17	32,0	—	1,034	62,0	—	
	22	31,5	—	1,034	61,0	—	
	27	30,5	—	1,034	59,0	—	
	28	32,0	—	1,034	62,0	—	
	Mittel:	31,4	56,0	1,034	60,8	62,2	
Manganbronze	46	56,0	—	1,034	108,4	—	101,1
	51	—	99,0	—	—	110,0	
	56	—	94,0	—	—	104,4	
	Mittel:	56,0	96,5	—	108,4	107,2	
Deltametall, gewalzt	61	74,0	—	1,034	144,0	—	100,0
	71	—	130,0	—	—	144,0	
						Im Mittel:	99,3

und das Wärmbad hineinragten. Hiermit sind zwei wesentliche Vorteile verbunden. Erstens ist die Formgebung des Stabes eine einfachere, der Materialverbrauch ein geringerer; zweitens wird die Erwärmung im Inneren der Heizflüssigkeit, aus welcher der Stab nicht herausragt, viel gleichförmiger ausfallen als bei den längeren Stäben. Mit der neuen Form der Probestäbe hängt auch die Anordnung der Feinmeßvorrichtung zusammen, welche gleichfalls einen wertvollen Fortschritt bezeichnet. Die kräftig ausgebildeten Meßfedern (vergl. Fig. 8) sind an den Köpfen des Stabes innerhalb der Heizflüssigkeit angesetzt und nehmen an ihrem aus der letzteren herausragenden Ende die Schneide des Martensschen Spiegelapparates zwischen sich auf. Auch hier sind die empfindlichen Teile der Einwirkung des Bades entzogen, und die Meßlänge wird ihrer ganzen Erstreckung nach geheizt. Als Wärmbad diente eine Blei-Zinn-Legierung. Für eine solche war früher (vergl. S. 15) Umrühren als untunlich bezeichnet worden, weil infolge der damit verbundenen Wärmeschwankungen

[1]) λ_{110} ist die Verlängerung der Strecke l' in Fig. 7,
λ_{90} " " " " " l'' " " 7.

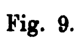


Fig. 9.

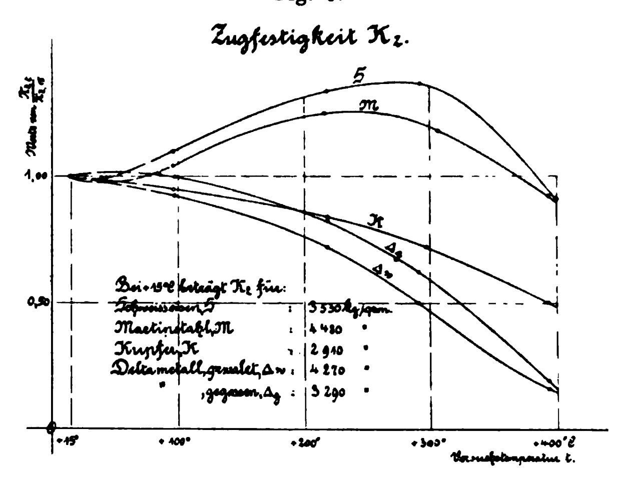


Fig. 10.

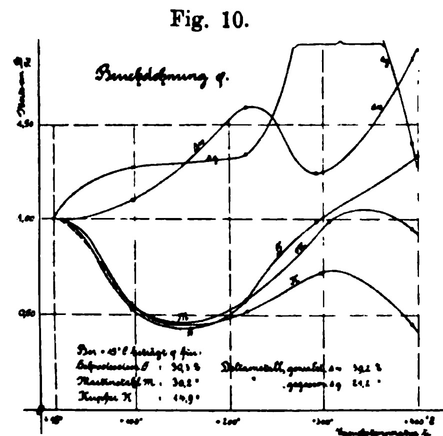
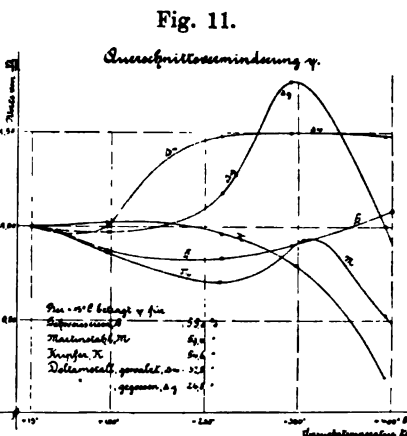
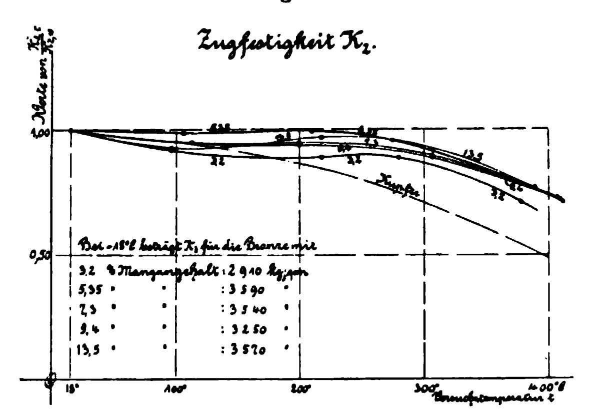


Fig. 11.



die Spiegel nicht zur Ruhe gelangten. Ueber diesen Punkt ist bei den vorliegenden Versuchen nichts erwähnt. Mußte das Umrühren unterbleiben, so werden sich er-

Fig. 12.



hebliche Temperaturunterschiede im Bade nicht haben vermeiden lassen. Zu beachten ist ferner, daß auch bei der Stabform nach Fig. 8 Umrechnung der ermittelten Dehnungswerte erfolgen mußte.

In der folgenden Zusammenstellung sind für die geprüften Metalle die gefundenen Werte der Spannung an der Streckgrenze σ_s, der Zugfestigkeit K_z, der Bruchdehnung φ (auf 90 mm Meßlänge bei rund 10 mm Stabdurchmesser), der Quer-

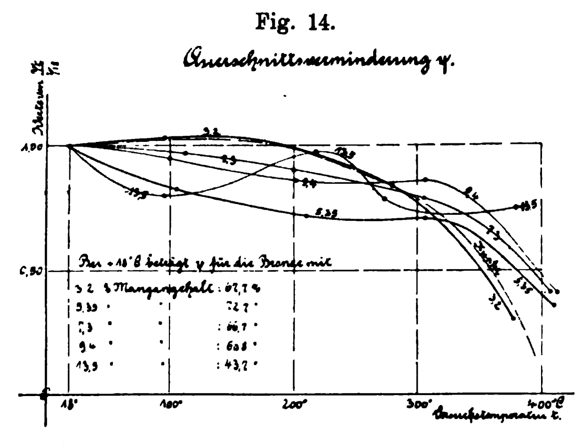
Fig. 13.

Bruchdehnung φ.

schnittsverminderung ψ und des Elastizitätsmoduls bei der jeweiligen Versuchstemperatur eingetragen[1]).

In den Fig. 9, 10 u. 11 sind Zugfestigkeit, Bruchdehnung und Querschnittsverminderung für Schweißeisen, Martinstahl, Kupfer und Deltametall zeichnerisch dargestellt. Für die beiden Manganbronzen geschieht dies in Fig. 12, 13 u. 14.

Fig. 14.



Hinsichtlich der Bemerkungen über die Zuverlässigkeit der einzelnen Werte muß auf den Originalbericht verwiesen werden.

b) Untersuchungen über den Einfluß der Wärme auf die Festigkeitseigenschaften von Manganbronze. 1895.

Die Durchführung der Versuche erfolgte unter Verwendung eines Ofens nach Fig. 2, während die Befestigung der Probestäbe und die Anordnung der Meßfedern

1) Die Bestimmung der Streckgrenze erfolgte auf Grund der zweiten Differenzenreihe für die Dehnungsstufen, welche erkennen läßt, in welchem Grade die Dehnungen mit zunehmender Spannung wachsen. Als Streckgrenze wurde diejenige Spannung angesehen, bei welcher die zweiten Differenzen erhebliche Steigerung gegenüber den vorhergehenden Werten aufwiesen.

für die Spiegelapparate der Fig. 8 entsprach. Als Wärmebad diente für 100° und 200° C. Paraffin, für 300° eine Legierung aus Zinn und Blei, für 400° Blei.

Hinsichtlich der Versuchsanordnung sind neue Bemerkungen nicht zu machen. Ein Teil der Ergebnisse ist in der folgenden Tabelle zusammengestellt, welche auch über das zur Untersuchung gelangte Material Auskunft gibt.

Versuchsergebnisse (Mittelwerte).

Material	t °C.	σ_s kg/qcm	K_z kg/qcm	φ_{90} %	ψ %	E
Schweißeisen	15	2030	3530	30,8	55,0	2 075 000
	96	2040	3880	16,1	47,9	2 053 000
	218	1360	4730	17,7	45,7	1 873 500
	292	1300	4840	29,9	49,3	1 623 000
	400	1190	3220	40,2	59,3	1 500 000
Martinstahl	15	2730	4480	30,2	59,6	2 060 000
	96	2700	4660	16,8	51,1	2 120 000
	216	2390	5580	17,3	40,8	2 090 000
	306	1640	5290	30,1	55,4	1 893 000
	393	1330	4110	28,6	30,8	1 690 000
Kupfer	17	2690	2910	14,9	54,6	1 200 000
	96	2550	2760	8,2	56,4	1 343 000
	218	2170	2430	7,8	52,4	1 104 000
	297	1500	2080	10,7	43,3	—
	393	810	1430	6,7	9,8	—
Deltametall, gewalzt	16	1480	4270	39,2	37,5	882 500
	96	1660	3950	42,9	37,6	872 000
	217	1620	3060	62,2	55,5	719 500
	285	1110	2120	48,6	56,4	—
	400	130	680	72,2	55,3	—
Deltametall, gegossen	rund 20	970	3290	21,2	24,8	978 000
	97	940	3280	26,9	24,2	1 010 000
	218	1150	2700	28,3	29,3	902 500
	291	780	2030	55,6	43,9	738 000
	393	170	630	29,7	24,8	—
Vierprozentige Manganbronze [1]), gewalzt	15	1360	2910	37,6	67,7	1 190 000
	96	1190	2670	33,5	69,7	1 200 000
	218	1150	2590	33,4	65,6	1 150 000
	280	1200	2590	33,8	56,5	1 310 000
	378	960	2060	15,3	20,2	895 000
Fünfzehnprozentige Manganbronze [1])	rund 20	1400	3570	30,9	43,7	940 000
	96	1400	3310	25,7	34,9	912 500
	218	1340	3460	32,6	42,9	922 000
	275	1430	3440	29,2	34,7	902 000
	390	1270	2740	27,8	32,7	540 000

Die Fig. 12, 13 u. 14 stellen das Verhalten der verschiedenen Bronzen bei veränderlicher Temperatur dar; in denselben sind auch die Ergebnisse mit den unter a behandelten Bronzen von 3,2 und 13,5 % Mangangehalt verzeichnet. Zum Vergleich wurden die in den Fig. 9, 10 u. 11 für Kupfer verzeichneten Linienzüge in die Fig. 12, 13 u. 14 übertragen.

[1]) Die nachträglich vorgenommene chemische Untersuchung ergab (vergl. „Mitteilungen, Berlin 1895") einen Mangangehalt von 3,2 bezw. 13,5 %. Demgemäß erfolgt die Benennung der Bronzen in Fig. 12, 13 u. 14.

Bei der Betrachtung der Figuren ist im Auge zu behalten, daß vorausgegangene Bearbeitung, Ungleichförmigkeit des Materials und die Art der Versuchsdurchführung die Ergebnisse in erheblichem Maße beeinflussen können.

Mangangehalt %	t °C.	K_z kg/qcm	φ_{90} %	ψ %
5,35	18	3590	40,0	72,7
	106	3560	32,4	60,2
	210	3570	36,5	52,4
	307	3350	37,1	51,9
	410	2590	23,7	26,0
7,3	rund 20	3540	34,2	66,7
	113	3360	30,5	64,6
	200	3360	30,2	60,1
	306	3190	32,2	52,4
	407	2590	29,0	27,1
9,4	rund 20	3250	37,1	69,8
	100	3080	32,5	66,4
	202	3020	28,5	59,7
	307	2890	34,3	59,6
	413	2320	30,6	28,6

Hinsichtlich der Bemerkungen über die Zuverlässigkeit der einzelnen Werte muß auf den Originalbericht verwiesen werden.

c) Untersuchungen über den Einfluß der Kälte auf die Festigkeitseigenschaften von Eisen und Stahl. 1895.

Die an der genannten Stelle besprochenen älteren Versuche anderer Forscher können hier nicht behandelt werden, weil die Ergebnisse nicht geeignet sind klarzulegen, nach welcher Gesetzmäßigkeit sich die Eigenschaften der untersuchten Materialien mit zunehmender Abkühlung ändern.

Die vorliegenden Versuche umfassen Zug-, Biege- und Stauchproben.

Die Zugstäbe waren in der aus Fig. 8 ersichtlichen Weise mit den Einspannköpfen der Zerreißmaschine verbunden. Zur Erzeugung der Temperatur von — 20° C. wurde der Stab mit einer Kältemischung umgeben, welche sich in einem Gefäß befand, das ähnlich wie der Ofen Fig. 2 befestigt war. Für die Versuchsreihe bei — 80° C. wurde über die Zugstäbe und die Einspannmuttern ein Samtbeutel gestülpt und mit Kohlensäureschnee gefüllt.

Die Stäbe verblieben vor dem Beginn des Versuchs 25 bis 30 Minuten in der Kühlvorrichtung. Während dieser Zeit wurde durch Umrühren und Nachfüllen (bei dem Samtbeutel durch Kneten) für gleichmäßige Verteilung der Kühlmasse gesorgt, was während des Versuchs, welcher 5 bis 7 Minuten dauerte, unterblieb. Untersucht wurde:

1. weiches Nieteisen (Rundstangen) im folgenden bezeichnet mit . . . . N
2. gewalzter Schiffbaustahl (Siemens-Martin-Flußeisen) bezeichnet mit . . M
3. „ „ (Thomasstahl) „ „ . . Th
4. gewalztes Schweißeisen für Baukonstruktion „ „ . . S
5. Federstahl (Rundstangen) „ „ . . F
6. Gußstahl (Tiegelstahl, Rundstangen) „ „ . . TS
7. geschmiedetes Schweißeisen (Hammereisen, Rundstangen) bezeichnet mit H.

Ein Teil der bei den Zugversuchen erlangten Mittelwerte ist in der folgenden

Tabelle enthalten. Die Ergebnisse stehen im Einklang mit den in Fig. 3, 4 u. 5 dargestellten Eigenschaften von Flußeisen verschiedener Festigkeit.

Die Stauch- und Biegeproben wurden vor dem Beginn des Versuchs 30 Minuten lang durchkältet und dann zur Prüfung aus dem Kühlgefäß herausgenommen. Hierdurch sind Aenderungen im Wärmezustand bedingt, wie unter 7c besprochen.

Bei den Stauchproben erfolgte nach jedem Schlage neue Abkühlung (15 Minuten). Im folgenden sind die Abmessungen derselben, die Höhenverminderung in Hundertteilen der ursprünglichen Höhe und die gesamte aufgenommene Schlagarbeit angegeben.

Die Biegeproben wurden in einer Schraubenpresse zuerst um 90° gebogen (Druckstück 12,5 mm Abrundungshalbmesser); die weitere Formänderung erfolgte durch Druck auf die Enden des Versuchsstückes, ohne Anwendung eines Dornes (vergl. Fig. 15). Die Proben aus Material N, M. und Th konnten in der Schraubenpresse nicht vollständig zusammengedrückt werden; sie wurden daher neu durchkältet und der Versuch in einer Pohlmeyer-Maschine zu Ende geführt. Um den Einfluß der wiederholten Abkühlung festzustellen, wurden die Versuche ohne Unterbrechung und ohne zweite Durchkältung nochmals durchgeführt. Die bei den ohne Unterbrechung angestellten Versuchen erhaltenen Werte für die Biegegröße $\frac{50\,\delta}{\rho}$ (δ = Dicke des Probekörpers, ρ = Halbmesser der neutralen Faser) sind hier mitgeteilt. Die angegebenen Temperaturen von — 80 bezw. — 20° C. können bei der Art der Versuchsdurchführung nur bei Beginn der Untersuchung in allen Teilen des Probekörpers vorhanden gewesen sein.

Fig. 15.

Material	t °C	Zugversuche K_z kg/qcm	φ_{90} %	ψ %	Schlagversuche Durchmesser mm	Höhe mm	Schlagarbeit kg/ccm	Höhenabnahme %	Biegeversuche Dicke oder Durchmesser mm	Breite mm	$\frac{50\,\delta}{\rho}$
N	— 80	4270	23,8	32,6	20,3	20,3	43,38	27,9	26	—	96
	— 20	4170	26,2	34,9	20,5	20,5	42,12	31,7	26	—	100
	rd. + 20	3970	27,7	39,9	20,3	20,3	43,11	34,8	26	—	87
M	— 80	4520	23,4	61,9	13,0	13,0	44,82	28,2	14	30	85
	— 20	4360	33,3	61,6	13,0	13,0	44,37	34,4	14	30	88
	rd. + 20	4040	32,8	62,7	13,1	13,0	43,33	35,8	14	30	100
Th	— 80	4620	26,2	60,9	13,1	13,1	43,92	29,8	14	30	81
	— 20	4550	29,5	61,8	13,1	13,1	43,92	32,2	14	30	88
	+ 20	4340	30,2	61,3	13,1	13,1	43,56	33,8	14	30	100
S	— 80	4320	20,2	32,0	8,2	8,2	44,01	35,4	9,5	30	40
	— 20	4160	21,7	32,7	8,2	8,2	43,29	33,9	9,5	30	35
	rd. + 20	4020	21,3	33,2	8,2	8,2	43,29	39,8	9,5	30	36
F	— 80	8440	10,9	23,8	20,3	20,3	172,35	50,6	15	—	24
	— 20	8420	14,0	24,1	20,3	20,3	171,45	52,7	15	—	30
	rd. + 20	7720	16,0	28,8	20,4	20,4	170,37	54,2	15	—	27
TS	— 80	8410	13,9	36,2	19,9	19,9	181,98	53,5	15	—	45
	— 20	8160	16,8	38,6	20,0	20,0	180,27	57,5	15	—	70
	rd. + 20	7930	17,1	37,9	19,9	19,9	183,78	60,7	15	—	62
H	— 80	4030	23,3	47,8	20,1	20,0	44,82	31,3	25	—	63
	— 20	3790	21,9	43,0	20,2	20,1	44,19	34,7	25	—	69
	rd. + 20	3710	21,3	46,4	19,9	19,9	45,81	37,8	25	—	60

Hinsichtlich der Bemerkungen über die Zuverlässigkeit der einzelnen Werte muß auf den Originalbericht verwiesen werden.

d) Einfluß des Prüfungsverfahrens auf das Ergebnis der Biegeproben bei niederen Wärmegraden. 1897.

Die Versuche bezwecken, festzustellen, welcher Unterschied in der Kennzeichnung der Materialien sich ergibt, wenn Biegeversuche mittels der Presse oder unter einem Fallwerk an unverletzten oder eingekerbten Probestücken vorgenommen werden.

Die Einkerbungen waren durch Hobeln oder Drehen (bei kreiszylindrischem Querschnitt; die Kerbe wurde mit versetzten Körnern hergestellt, war also nur auf einer Stabhälfte vorhanden) erzeugt und wiesen einen Winkel von rund 60° auf; ihre Tiefe betrug 1,5 mm bei Stäben von rechteckigem und 1 mm bei Stäben von kreisförmigem Querschnitt.

Die Biegeproben mittels der Presse wurden wie unter c) beschrieben vorgenommen; die Auflagerentfernung betrug bei der Biegung bis zu 90° l = 120 bis 130 mm.

Bei den Schlagbiegeproben betrug die Freilage 120 mm; das Bärgewicht war 37,5 kg.

Ein Teil der Versuchsergebnisse ist im folgenden zusammengestellt. Die Materialien sind die unter c) genannten.

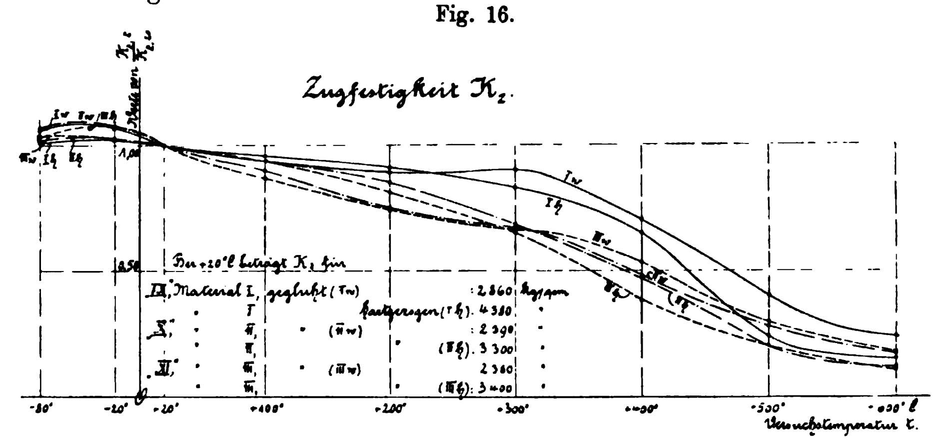
Material	t °C	Biegeversuche, Schraubenpresse, Proben					Schlag-Biegeversuche, Proben						
		unverletzt			eingekerbt		unverletzt				eingekerbt		
		Dicke oder Durchmesser mm	50 δ ρ	Biegungswinkel α°	Anbruchwinkel °	Bruchwinkel °	Dicke oder Durchmesser mm	Breite mm	Fallhöhe m	Biegungswinkel °	Dicke oder Durchmesser mm	Fallhöhe m	Bruch bei Schlag
N	— 80	9,5	40	180	11	—	—	—	—	—	Der Bruch erfolgte bei den weitaus meisten Proben beim ersten Schlage. Eine Wiederholung der Versuche, wobei nach jedem Schlage Durchkältung stattfand, ergab:		
	— 20	9,5	35	178	21	—	—	—	—	—			
	+ 20	9.5	36	180	10	—	—	—	—	—			
M	— 80	14	85	180	33	36	13,9	29,6	0,5	35			
	— 20	14	88	180	43	69	14,0	29,8	0,5	39			
	rd. + 20	14	100	180	44	108	13,9	31,5	0,5	44			
Th	— 80	14	81	180	16	17	14,1	29,7	0,5	34			
	— 20	14	88	180	33	51	14,1	29,7	0,5	41			
	rd. + 20	14	100	180	39	86	13,9	29,7	0,5	46			
FS	— 80	—	—	—	—	—	25.0	—	2,0	39	—	—	—
	— 80	15	24	69	—	—	25,0	—	3,0	52	25,0	0,15	1
	— 20	und	30	84	—	—	25,0	—	2,0	37	25,0	0,15	1 bis 2
	rd. + 20	25	27	91	0	0	25,0	—	2,0	41	25,0	0,15	3 „ 4
TS	— 80	15	45	158	—	—	25,0	—	2,0	37	25,0	0,20	1
	— 20	und	70	180	—	—	25,1	—	2,0	40	25,0	0,20	3 bis 4
	rd. + 20	25	62	180	0	0	25,0	—	2,0	43	25,1	0,20	3 „ 4
S	— 80	—	—	—	—	—	9,5	29,3	0,5	80	—	—	—
	— 20	—	—	—	—	—	9,4	29,3	0,5	93	—	—	—
	rd. + 20	—	—	—	—	—	9,1	29,8	0,5	94	—	—	—

e) Ueber den Einfluß der Wärme, chemischen Zusammensetzung und mechanischen Bearbeitung auf die Festigkeitseigenschaften von Kupfer. 1898.

Ueber die Vorversuche, welche zur Klärung der obengenannten Fragen angestellt wurden, ist unter 7, d bezw. 10, a berichtet.

Die Versuchseinrichtungen sind die schon früher beschriebenen. Der Wärmofen entspricht der Fig. 2; die Probestäbe sind in der aus Fig. 8 ersichtlichen Weise in der Prüfungsmaschine befestigt. Dieselbe Figur läßt auch die Form der Meßfedern für die Spiegelapparate erkennen. Als Wärmbad diente bei 100 und 200° Paraffin, bei 300 und 400° C. ein Gemisch von Kali- und Natronsalpeter zu gleichen Teilen. Zur Erzeugung von Abkühlung bis —80° C. kam Kohlensäureschnee zur Verwendung.

Fig. 16.



Die zu diesen Vorrichtungen und zu der Art der Versuchsdurchführung weiter oben gemachten Bemerkungen gelten auch hier.

Von den ausgedehnten Versuchsreihen soll an dieser Stelle nur ein Teil der Ergebnisse von Zugversuchen angeführt werden. Beachtung verdient, daß hiernach der Einfluß der Bearbeitung bei Kupfer nach kurzer Erhitzung auf ∾ 500° C. zu verschwinden scheint[1]). Hinsichtlich der Folgerungen und weiterer Einzelheiten muß auf die Veröffentlichung selbst verwiesen werden.

Bei Beurteilung der Ergebnisse ist im Auge zu behalten, daß die Versuche unter stetiger Steigerung der Belastung mit verhältnismäßig kurzer Versuchsdauer ausgeführt wurden, und daß die Zeit, während welcher die Belastung wirkt, bei Kupfer in höheren Wärmegraden die erlangten Werte wesentlich beeinflußt (vergl. hierzu S. 12 und S. 60 f.).

Die zeichnerische Darstellung für die Zugfestigkeiten des in Rundstangen eingelieferten Materials erfolgt in Fig. 16.

Die chemische Zusammensetzung des untersuchten Kupfermaterials findet sich hinter den Tabellen, welche Zugfestigkeit, Bruchdehnung und Querschnittsverminderung bei veränderlicher Temperatur enthalten, angegeben.

---

[1]) Nach Martens, Mitteilungen 1894, S. 60, bewirkt schon andauernde Erwärmung auf 300° C. Verminderung der Wirkung vorhergegangener Bearbeitung; vergl. auch die Arbeit von Le Chatelier (besprochen auf S. 11), in welcher die betreffende Temperatur durch Versuche, die hier nicht mitgeteilt sind, als zwischen 200 und 300° C. liegend ermittelt wird.

Rundstangen.

Eigenschaft	t °C	Material „IX" hartgezogen	Material „IX" geglüht	Material „X" hartgezogen	Material „X" geglüht	Material „XI" hartgezogen	Material „XI" geglüht
K_z kg/qcm	— 80	4440	3030	3380	2550	3530	2450
	— 20	4460	3060	3410	2570	3490	2550
	+ 20	4380	2860	3300	2390	3400	2380
	+ 100	4180	2700	3110	2150	3200	2060
	+ 200	3970	2550	2790	1790	2750	1750
	+ 300	3630	2580	2250	1590	2220	1560
	+ 400	2840	1990	1550	1150	1290	1270
	+ 500	1070	1150	650	670	680	720
	+ 600	660	690	400	410	390	420
φ_{90} %	— 80	9,3	50,6	7,6	42,8	7,3	42,7
	— 20	10,3	52,9	8,5	49,1	8,3	48,3
	+ 20	8,1	48,6	6,7	43,7	6,1	44,9
	+ 100	6,9	45,2	5,8	47,1	5,9	49,0
	+ 200	7,8	49,3	6,2	45,5	6,6	45,4
	+ 300	9,3	42,6	7,3	46,3	9,8	47,2
	+ 400	5,2	20,9	4,0	12,7	31,7	37,1
	+ 500	58,1	52,4	12,6	18,7	15,8	20,7
	+ 600	51,0	64,6	15,5	15,9	11,7	11,2
ψ %	— 80	71,9	79,3	50,3	58,4	48,2	62,8
	— 20	71,4	79,3	51,9	59,7	52,4	64,5
	+ 20	71,1	80,5	52,6	58,2	50,7	64,0
	+ 100	67,6	78,5	51,2	59,7	50,7	67,2
	+ 200	63,9	78,9	55,8	64,0	52,4	69,7
	+ 300	37,6	46,9	36,0	60,9	40,6	62,2
	+ 400	—	—	15,9	15,3	37,5	39,9
	+ 500	43,3	43,8	—	19,7	14,4	19,0
	+ 600	41,1	42,2	15,3	—	11,6	13,5

Hinsichtlich der Bemerkungen über die Zuverlässigkeit der einzelnen Werte muß auf die Arbeit selbst verwiesen werden.

Platten.

Eigenschaft	t °C	Material „I" geglüht	Material „I" geglüht und dann gehämmert	Material „I" gewalzt	Material „II" geglüht	Material „II" geglüht und dann gehämmert	Material „II" gewalzt	Material „VI" geglüht	Material „VI" geglüht und dann gehämmert	Material „VI" gewalzt	Eigenschaft
K_z kg/qcm	— 80	3110	4090	4010	2550	3170	3080	2320	2940	2920	K_z kg/qcm
	— 20	3130	4080	4060	2520	3060	3110	2340	2840	2870	
	+ 20	2990	3760	3820	2360	3030	2980	2190	2750	2770	
	+ 100	2840	3700	3670	2100	2850	2840	1970	2500	2540	
	+ 200	2750	3460	3580	1830	2440	2480	1600	2140	2240	
	+ 300	2460	2980	3210	1640	2070	2090	1410	1820	1870	
	+ 400	2070	2250	2530	1360	1680	1460	1010	1070	1050	
	+ 500	1140	1170	1160	720	700	680	590	590	550	
	+ 600	710	650	510	590	370	390	410	380	380	
φ_{90} %	— 80	44,8	10,5	14,7	41,9	6,6	12,9	39,7	7,0	9,2	φ_{90} %
	— 20	50,8	11,0	21,0	46,6	6,7	16,2	46,4	10,1	14,3	
	+ 20	53,2	9,1	17,4	46,8	6,0	9,1	44,0	6,0	8,9	
	+ 100	46,0	7,3	9,6	43,3	5,7	5,8	42,2	5,6	6,8	
	+ 200	45,3	10,1	14,5	41,0	5,6	5,7	46,9	5,7	8,6	
	+ 300	23,1	4,8	5,9	39,5	7,2	8,6	45,4	4,0	9,1	
	+ 400	16,3	4,6	7,0	25,2	4,2	30,6	28,3	39,1	35,6	
	+ 500	31,7	11,6	34,5	18,4	15,7	12,7	21,5	27,0	32,8	
	+ 600	30,1	29,3	18,9	29,7	11,4	11,9	23,6	22,5	27,3	

Eigenschaft	t °C.	Material „I“			Material „II“			Material „VI“			Eigenschaft
		geglüht	geglüht und dann gehämmert	gewalzt	geglüht	geglüht und dann gehämmert	gewalzt	geglüht	geglüht und dann gehämmert	gewalzt	
ψ %	— 80	75,1	68,0	64,4	51,5	43,9	45,4	48,1	39,8	37,8	ψ %
	— 20	73,1	64,8	65,6	53,8	43,9	45,3	44,7	40,9	39,1	
	+ 20	73,6	68,3	67,5	53,7	44,1	44,6	52,3	39,1	41,8	
	+ 100	70,8	60,6	57,6	56,3	44,0	43,2	56,2	42,8	42,2	
	+ 200	66,7	58,8	54,4	57,4	43,8	45,0	51,6	41,3	44,3	
	+ 300	21,7	17,6	—	43,4	33,9	32,1	46,9	23,4	30,2	
	+ 400	—	7,6	9,8	26,0	11,3	30,1	25,7	38,5	37,8	
	+ 500	26,9	14,0	26,5	17,9	15,2	—	20,0	33,7	32,9	
	+ 600	26,1	25,1	23,4	27,0	10,7	—	20,9	30,7	34,9	

Zusammensetzung des untersuchten Kupfers.

Material	Sn %	As %	Sb %	Bi %	Pb %	Zn %	Ni %	Fe %
Rundstange, IX	1,86	—	Spur	Spur	—	0,43	0,04	0,10
„ X	Spur	0,02	0,19	0,01	—	—	0,20	0,04
„ XI	0,02	0,04	—	0,01	0,05	—	0,15	0,04
Platte, I	2,25	—	Spur	Spur	—	0,37	—	0,03
„ II	0,03	0,01	0,17	„	0,02	—	0,29	0,03
„ VI	—	—	—	„	—	—	—	0,01

f) Einfluß der Wärme auf die Festigkeitseigenschaften der Metalle. 1900.

Die Versuchseinrichtungen sind die unter e) beschriebenen. Die Ergebnisse sind zu einem Teil in folgender Tabelle zusammengestellt, die auch angibt, welche Materialien geprüft wurden.

Die Ergebnisse sind zeichnerisch dargestellt in
Fig. 25 für Gußeisen und Temperguß,
„ 26, 27, 28 „ Stahlguß (Stahlformguß),
„ 20 „ geschmiedete Bronze.

Zusammenstellung.

Eigenschaft	t °C.	Gußeisen	Stahlformguß	Temperguß	Geschmiedete Bronze [1]	Hartblei
K_z kg/qcm	20	1300	4390	3220	4520	460
	60	—	—	—	—	440
	100	1050	—	—	4330	280
	rund 200	—	4620	3670	3700	—
	250	—	—	—	2870	—
	rund 300	1140	—	—	1850	—
	350	—	—	—	950	—
	400	1390	4210	3400	490	—
	500	880	—	—	—	—
	600	430	1930	1320	—	—

[1]) Zusammensetzung nach Angabe: 57,4 % Kupfer; 40,4 % Zink; 1,0 % Eisen; 1,0 % Zinn; 0,1 % Aluminium; 0,1 % Mangan.

Eigenschaft	t ° C.	Gußeisen	Stahlformguß	Temperguß	Geschmiedete Bronze	Hartblei
	20	0,6	24,0	0,8	35,9	0,1
	60	—	—	—	—	1,9
	100	0,2	—	—	39,6	0,9
	rund 200	—	10,8	1,2	38,9	—
φ_{90}	250	—	—	—	73,7	—
%	rund 300	0,3	—	—	65,7	—
	350	—	—	—	74,5	—
	400	0,5	15,4	0,9	67,8	—
	500	0,6	—	—	—	—
	600	0,5	22,4	1,9	—	—
	20	—	35	1,5	57	0
	60	—	—	—	—	1
	100	—	—	—	56	1
	rund 200	—	23	5	64	—
ψ	250	—	—	—	61	—
%	290	—	—	—	62	—
	350	—	—	—	67	—
	400	—	19,5	0,5	63	—
	500	—	—	—	—	—
	600	—	30	4	—	—

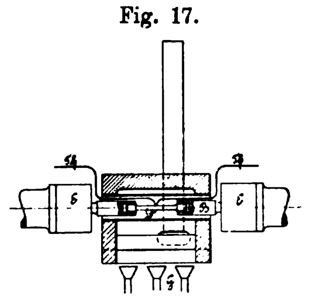
11. Arbeiten von Dr. G. Charpy.

(Nach „Bulletin de la société d'encouragement".)

a) Etude sur la trempe de l'acier. (Untersuchung über das Härten von Stahl.) 1895.

Im Laufe seiner Untersuchung, welche sich in der Hauptsache mit anderen Gegenständen befaßt als solchen, welche in den Rahmen der vorliegenden Arbeit gehören, stellt Charpy auch den Einfluß der Temperatur auf die Festigkeitseigenschaften des von ihm geprüften Materials fest.

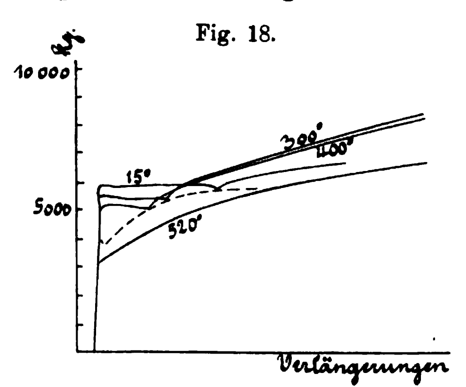
Fig. 17.



Zur Erwärmung des Probestabes und zur Befestigung desselben in der Prüfungsmaschine diente die in Fig. 17 dargestellte Einrichtung. Der Probestab S war durch Verlängerungsstücke B mit den Köpfen E der wagrechten Zerreißmaschine verbunden. Ueber B und S war ein Rohr aus feuerfester Masse gesteckt, welches durch die Gasflammen G geheizt und durch einen Mantel, der zugleich als Gasführung diente, gegen Abkühlung geschützt wurde. Die Bestimmung der Temperatur des Stabes erfolgte mittels des Thermoelements Th. Unter der Annahme, daß die Dauer der Erwärmung des Stabes und der Einspannteile vor dem Versuch ausreichend bemessen war, darf mit Rücksicht auf die im Vergleich zum Stabe S bedeutenden Abmessungen der Verlängerungsstücke B angenommen werden, die Erhitzung des Probestabes sei auf der ganzen Meßlänge eine gleichförmige gewesen. Weniger sicher scheint, ob ihre Höhe durch die Angaben des Thermoelements Th (dessen Lötstelle sich an der Staboberfläche befand) hinreichend genau bestimmt wurde. (Vergl. hierzu die eingehenden Versuche von Stribeck, S. 60 f.)

Die Versuchsergebnisse sind für Martinstahl die im folgenden angeführten. Fig. 18 gibt die zugehörigen Kraft-Dehnungs-Schaulinien wieder. Auf eine Be-

Fig. 18.



schreibung des zur Aufzeichnung derselben verwendeten Selbstzeichners wird hier verzichtet, unter Verweisung auf die ursprüngliche Arbeit.

Versuchsergebnisse für Martinstahl.

t °C.	Spannung an der Streckgrenze σ_s kg/qcm	Zugfestigkeit K_z kg/qcm	Verlängerung an der Streckgrenze (Fig. 18) cm
15	3940	5900	4,5
300	3670	7300	2,5
400	3470	7020	1,7
520	—	5010	—
780	—	1000	—

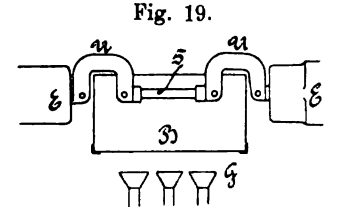
Die Aenderung der Zugfestigkeit mit steigender Temperatur ist hiernach für das untersuchte Material von dem sonst gefundenen verschieden. Dies hängt vielleicht zum Teil mit der Anordnung des Thermoelementes zusammen, welche zu hohe Anzeigen ermöglichte (d. h. die angegebenen Festigkeitswerte würden zu niedrigeren Stabtemperaturen gehören).

b) Recherches sur les alliages de cuivre et de zinc. (Untersuchungen über Kupfer-Zink-Legierungen.) 1896.

Als Anhang VII findet sich ein Bericht über Versuche bei höherer Temperatur.

Die Vorrichtung zur Erwärmung des Probestabes und zur Befestigung desselben in der wagrechten Zerreißmaschine ist in Fig. 19 dargestellt. In den mit den Einspannköpfen der Prüfungsmaschine verbundenen U-förmigen Bügeln U war der Probestab S befestigt. Seine Erwärmung erfolgte durch ein im Troge B befindliches geheiztes Oelbad. Als Wärmequelle dienten die Brenner G.

Fig. 19.



Bei der beschriebenen Anordnung dürfte es schwerlich gelungen sein, das Bad B in allen seinen Teilen auf gleiche Temperatur zu bringen und es während längerer Zeit auf derselben zu erhalten. Die Erwärmung des Bades von unten her und die Abkühlung am Flüssigkeitsspiegel (welch letztere sich bei der Nähe des Probestabes auch auf diesen

erstrecken konnte) bedingen Strömungen im Wärmbade, welche das Eintreten eines gleichförmigen Wärmezustandes verhindern [1]).

Wie groß die durch diese Umstände bedingten Temperaturunterschiede waren, muß dahingestellt bleiben.

Die Versuchsergebnisse sind im folgenden mitgeteilt. Hinsichtlich der Dehnungen ist zu bemerken, daß das Verhältnis von Probendurchmesser zu Meßlänge etwa 1 : 7 gewesen zu sein scheint.

Versuchsergebnisse.

t °C.	Messing, gegossen, 83 % Zn			Messing, gegossen, 40 % Zn, „Roma-Metall“			Messing, gewalzt und ausgeglüht, 40 % Zn, „Roma-Metall“		
	K_z kg/qcm	φ %	ψ %	K_z	φ	ψ	K_z	φ	ψ
15	3270	66,3	58	3870	32,3	35	3770	33,6	30
150	2870	39,6	37	3490	34,2	32	3410	58,6	58
200	2670	33,0	37	2870	40,0	40	3140	61,8	60
225	2270	20,5	22	2460	31,0	32	2940	59,8	53
250	2000	15,3	19	2180	26,0	32	2610	52,5	43

Die Verwendung der Metalle bei Temperaturen, welche wesentlich über 200 ° C. liegen, scheint hiernach nicht empfehlenswert. (Vergl. dagegen die Ergebnisse der Versuche von Stribeck mit Duranametall, S. 63 f.)

c) Etude sur l'influence de la température sur les propriétés des alliages métalliques. (Untersuchung über den Einfluß der Temperatur auf die Eigenschaften der Metallegierungen.) 1899.

Ausgeführt wurden Zug- und Schlagversuche bei höherer Temperatur.

Für die ersteren war die Versuchsanordnung dieselbe, wie unter b) beschrieben. Die dort gemachten Bemerkungen gelten daher auch hier.

Die Schlagversuche wurden in einem Fallwerk von 10 kg Bärgewicht ausgeführt. Für Bronze, Messing u. s. f. wurde die Fallhöhe bei jedem Schlage um 10 cm gesteigert, betrug also 10, 20, 30 u. s. f. cm beim ersten, zweiten, dritten Schlage. Bei Eisenmaterial waren die entsprechenden Hubhöhen 25, 50, 75 u. s. f. cm. Nach jedem Schlage wurde der Biegewinkel gemessen.

Die Abmessungen der Probekörper waren: Länge 60 mm, Querschnitt 14 . 9 mm; die Einspannung erstreckte sich auf 20 mm Länge; der Hammer traf die Probe 5 mm vom freien Ende entfernt (der Hebelarm für den Kraftangriff beträgt also $60 - 20 - 5 = 35$ mm, sofern vollkommene Einspannung vorausgesetzt wird, was selbstredend nicht zutrifft). Der Schraubstock, welcher zur Befestigung der Proben diente, konnte um eine wagrechte Achse gedreht werden, so daß es möglich war, das den Schlag empfangende Ende des Stabes horizontal zu stellen.

Nachdem alles zur Ausführung des Schlages vorbereitet war, erfolgte die Erhitzung des Probekörpers, welche in einem Wärmbade vorgenommen wurde, worin derselbe ½ Stunde verblieb. Damit die Schlagprobe nicht mit den kalten Einspannvorrichtungen in unmittelbare Berührung komme und dadurch erheblich an einem Ende abgekühlt werde, wurde sie in ein Paßstück eingesetzt und darin

[1]) Solche Strömungen wurden bei ähnlicher Versuchsanordnung von Martens gelegentlich der Untersuchung von Zink (s. S. 13) beobachtet.

durch eine Klemmschraube festgehalten. Diese sinnreiche Anordnung ist besonders zu beachten. Beide Teile wurden nun gemeinsam und zugleich mit der Zange, welche später zum Herausnehmen aus dem Bade und Einbringen in den Schraubstock des Fallwerkes diente, erwärmt. Auf diese Weise waren die Abkühlungen vor dem Versuchsbeginn möglichst gering gehalten, da solche nur durch Berührung mit Luft während der kurzen Zeit, welche zwischen der Entfernung des Probekörpers aus dem Wärmbad und der Auslösung des Bärs verstrich, hervorgebracht wurden.

Vor jedem Schlage erfolgte neue Erwärmung des Probekörpers, des Paßstücks und der Zange, nachdem zuvor alles für den nächsten Versuch eingestellt und vorbereitet war.

Unter Biegungswinkel ist hierbei der Winkel zu verstehen, den die Schenkel des gebogenen Stabes innen einschließen. Der Winkel, um welchen sich der Stab gebogen hat und welcher im allgemeinen als Biegewinkel bezeichnet zu werden pflegt, ergänzt den hier angegebenen Wert zu 180 °.

Die Versuchsergebnisse sind im folgenden zusammengestellt.

A. Kupfer-Zink-Legierungen.

I. Schlagversuche.

Zusammensetzung des geprüften Materials.

Bezeichnung	Kupfer %	Zink %	Behandlung vor dem Versuch
1	99,8	—	Gewalzt, ausgeglüht bei ca. 700 ° C.
2	81,3	18,4	Gewalzt, ausgeglüht bei ca. 700 ° C.
3	69,3	30,2	Gewalzt, ausgeglüht bei ca. 700 ° C.
4	62,08	37,6	Gewalzt, ausgeglüht bei ca. 700 ° C.
5	58,9	40,4	Gewalzt, ausgeglüht bei ca. 700 ° C.
6	55,0	44,7	Gewalzt, ausgeglüht bei ca. 700 ° C.
7	—	99,4	Gewalzt, ausgeglüht bei ca. 350 ° C.

t ° C.	Material 1: Cu = 99,8 %				Material 2: Cu = 81,3 %; Zn = 18,4 %				
	Biegungswinkel bei Fallhöhe (m)				Biegungswinkel bei Fallhöhe (m)				
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
15	161	139	115	90	164	143	120	95	67
200	160	137	110	74	164	139	114	84	53
250	160	136	106	70	164	139	113	82	50
300	159	133	104	68	161	139	112	80	—
350	159	133	100	61	164 Bruch	—	—	—	—

t ° C.	Material 3: Cu = 69,3 %; Zn = 30,2 %					Material 4: Cu = 62,08 %; Zn = 37,6 %				
	Biegungswinkel nach Fallhöhe (m)					Biegungswinkel nach Fallhöhe (m)				
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
15	165	145	121	97	68	168	152	132	111	88
200	161	135	104	70	—	168	151	129	105	76
250	160	135	104	70	—	168	150	127	101	72
300	159	131	100	62	—	168	149	127	103	71
350	163 Bruch	—	—	—	—	179 Bruch	—	—	—	—

t ° C.	Material 5: Cu = 58,9 %; Zn = 40,4 %						Material 6: Cu = 55,0 %; Zn = 44,7 %						
	Biegungswinkel nach Fallhöhe (m)						Biegungswinkel nach Fallhöhe (m)						
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
15	170	156	139	120	101	78	170	158	144	128	110	94	78
200	170	157	139	119	96	70	173	163	149	130	108	—	—
250	170	157	137	115	93	62	174	165	150	130	Bruch	—	—
300	171	157	137	115	91	60	175	171	—	Bruch	—	—	—
350	171	165 Bruch	—	—	—	—	179 Bruch	Bruch	—	—	—	—	—

t ° C.	Material 7: 99,4 % Zn		
	Biegungswinkel nach Fallhöhe (m)		
	0,10	0,20	0,30
rd. 15	155	119	71
250	152	110	53
300	147	98	42
350	177 Bruch	—	—

II. Zugversuche.

Zusammensetzung der geprüften Materialien.

Bezeichnung	Kupfer %	Zink %	Zinn %	Blei %	Eisen %	Aluminium %	Mangan %	Phosphor %
1	58,99	40,27	0,31	0,17	0,06	1,09	0,30	0,09
2	57,56	41,47	0,10	0,19	0,07	0,62	0,22	0,11
3	58,90	40,49	0,34	0,22	0,06	—	0,13	0,10
4	57,07	42,24	Spur	0,17	0,07	—	0,15	0,08
5	58,97	40,40	0,05	0,18	0,07	—	0,18	0,08
6	56,20	42,95	0,11	0,13	0,05	—	0,33	0,07
7	58,04	40,10	0,32	0,07	0,05	—	0,21	—
8	58,59	40,67	—	0,39	—	0,20	—	—

Die Metalle 1, 2, 3 und 4 waren heiß, die Nummern 5, 6 und 7 möglichst kalt vergossen. Mit Nummer 8 sind je vier Versuche ausgeführt.

Zugfestigkeiten.

Nr. 8' enthält die kleinsten bei der Prüfung von Metall 8 ermittelten Werte. kg/qcm.

t ° C.	Nr. 1	2	3	4	5	6	7	8	8'
15	3860	3640	3870	3950	3590	3850	4400	4140	4090
100	3470	—	—	—	3540	4140	3740	3610	3410
150	3080	3000	—	3080	3410	3740	3640	3190	3140
200	2780	2480	2870	2680	3080	2940	3400	2900	2870
225	2397	2480	2460	2350	2810	2740	3210	2710	2670
250	2140	2050	2180	2140	2670	2540	2870	2480	2470

Dehnungen (Meßlänge und Durchmesser nicht angegeben).

t ° C.	Nr. 1	2	3	4	5	6	7	8	8'
15	42,0	26,0	32,3	25,0	15,0	8,4	16,2	31,2	27,6
100	45,0	—	—	—	27,3	13,6	11,7	32	23,4
150	43,0	41,0	—	30,0	34,7	29,0	19,7	35,1	27,5
200	52,4	48,4	40,0	42,0	47,5	44,0	40,0	42,3	37,4
225	46,0	52,0	31,0	37,3	46,5	40,8	40,2	34,0	32,8
250	41,5	52,8	26,0	37,5	55,0	65,2	45,2	28,0	26,5

Querschnittsverminderungen.

t ° C.	Nr. 1	2	3	4	5	6	7	8	8'
15	62,0	79,3	65,7	73,1	87,2	91,3	85,9	64,8	62,2
100	63,5	—	—	—	71,7	84,6	85,0	68,2	65,7
150	57,7	54,6	—	70,5	57,7	71,7	81,9	57,0	48,3
200	56,7	45,2	60,0	63,5	54,6	49,2	61,1	50,8	49,2
225	55,6	45,0	68,2	58,9	54,6	36,1	60,0	60,0	57,7
250	61,1	51,4	68,2	63.5	60,0	31,0	53,4	69,0	65,7

Die zeichnerische Darstellung der Zugfestigkeiten für Metall 1, 5 und 8 ist in Fig. 20 gegeben.

Fig. 20.

B. Kupfer-Zinn-Legierungen.

I. Schlagversuche.

Zusammensetzung der untersuchten Materialien.

Bezeichnung	Kupfer %	Zinn %	Zink %	Blei %	Eisen %	Phosphor %	Bemerkungen
Nr. 1	92,63	6,06	0,44	0,04	0,60	—	Gegossen.
2	89,55	9,66	0,14	0,32	0,20	0,03	"
3	86,06	12,94	0,25	0,34	0,22	0,01	"
4	85,10	13,83	0,32	0,33	0.22	0,01	"
5	84,42	15,04	0,06	0,27	0,03	0,006	"
6	80,0	19,50	0,23	0,30	0,05	0,02	Bricht stets beim 1. Schlage.
7	96,42	3,35	—	—	—	—	Gewalzt, ausgeglüht.

Ergebnisse.

t °C.	Bezeichnung	Biegungswinkel nach Fallhöhe (m)				Bezeichnung	Biegungswinkel nach Fallhöhe (m)						
		0,10	0,20	0,30	0,40		0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
15	1	172	158	140	119 Bruch	2	174	164	150	143	Bruch	—	—
200		169	153	131	116 „		170	156	138	125	„	—	—
250		169	140	134	—		169	153	133	Bruch	—	—	—
350		168	Bruch	—	—		172	Bruch	—	—	—	—	—
15	3	174	165	Bruch	—	4	175	167	Bruch	—	—	—	—
200		172	164	„	—		172	161	„	—	—	—	—
15	5	175	Bruch	—	—	7	170	154	136	114	89	61	—
200		175	170	Bruch	—		167	149	129	106	82	50	—
300		—	—	—	—		166	147	125	101	73	45	—
400		—	—	—	—		165	143	119	92	57	—	—

II. Zugversuche.

Zusammensetzung des untersuchten Materials:

88,11 % Kupfer; 13,05 % Zinn; 1,62 % Zink.

Ergebnisse.

t °C.	K_z kg/qcm	φ %	ψ %
15	2270	4,5	7,1
100	2070	6,3	11,1
150	2010	13,1	18,3
200	1810	5,8	7,1
225	1740	4,0	4,4
250	1600	3,3	5,2

C. Kupfer-Aluminium-Legierungen.

Schlagversuche.

Zusammensetzung der untersuchten Materialien.

Bezeichnung	Kupfer %	Aluminium %	Behandlung vor dem Versuch
1	94,43	5,45	Gewalzt und ausgeglüht.
2	91,87	8,16	„ „ „
3	90,34	9,53	„ „ „

Ergebnisse.

Bezeichnung	t °C.	Biegungswinkel nach Schlag von Fallhöhe (m)					
		0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60
1	15	171	157	141	122	103	78
	200	169	154	135	114	92	68
	300	169	152	133	112	91	55
	400	167	149	128	104	79	—

Bezeichnung	t °C.	Biegungswinkel nach Schlag von Fallhöhe (m)								
		0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
2	15	173	162	148	132	113	91	69		
	200	172	159	145	128	107	88	63		
	300	172	160	144	126	105	83	57		
	400	171	159	142	123	101	75	—		
3	15	177	172	164	154	143	130	116	98	80
	200	177	171	163	152	140	126	111	94	90 Bruch
	300	177	171	163	152	139	124	108	94 Bruch	
	400	176	170	161	149	134	117	98 Bruch		

D. Kupfer-Nickel-Legierungen.

Schlagversuche.

Zusammensetzung der untersuchten Materialien.

Bezeichnung	Kupfer %	Nickel %	Zink %	Behandlung vor dem Versuch
1	79,76	19,60	—	Gewalzt und bei 700° C. ausgeglüht.
2	74,26	25,10	—	
3	60,7	18,95	24,2	

Ergebnisse.

Bezeichnung	t °C.	Biegungswinkel nach Schlag aus Fallhöhe (m)								
		0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
1	15	177	171	163	152	139	123	103	80	60
	200	176	170	161	148	132	112	18	—	—
	300	177	170	159	146	127	105	79	—	—
	400	177	169	157	140	127	102 Bruch	—	—	—
2	15	178	173	165	156	144	124	110	97 Bruch	—
	200	177	172	164	153	138	120	89 Bruch	—	—
	300	177	172	163	150	136 Bruch	—	—	—	—
	400	177	170	160	157 Bruch	—	—	—	—	—
3	15	177	172	164	152	139	124	107	87	65
	200	177	170	161	150	136	120	77 Bruch	—	—
	300	177	171	162	150	127 Bruch	—	—	—	—
	400	176 Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—

E. Eisen-Kohlenstoff-Nickel-Legierungen.

I. Schlagversuche.

Zusammensetzung der untersuchten Materialien.

Bezeichnung	Kohlenstoff %	Nickel %	Mangan %	Silizium %	Schwefel %	Phosphor %	Chrom %	Behandlung
1	0,07	—	0,03	0,03	0,01	0,030	—	Auf 900° erwärmt und langsam abgekühlt.
2	0,27	—	0,05	0,04	0,01	0,019	—	
3	0,07	5,1	0,04	0,05	0,01	0,012	—	
4	0,39	4,4	0,16	0,05	0,01	0,020	—	
5	0,07	23,3	0,07	0,04	0,01	0,014	—	
6	0,31	23,6	0,23	0,08	0,01	0,013	—	
7	—	11,6	—	—	—	—	1,9	

Ergebnisse.

t °C.	Bezeichnung	Biegungswinkel nach Schlag aus Fallhöhe (m)					Bezeichnung	Biegungswinkel nach Schlag aus Fallhöhe (m)					
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,75
15	1	167	145	115	78	—	2	168	150	126	97	63	—
200		160	135	107	72	—		163	141	114	81	—	—
250		160	136	107	70	—		163	140	112	76	—	—
300		160	136	105	66	—		162	139	110	70	—	—
400		160	134	103	64	—		161	134	109	75	—	—
15	3	171	154	132	104	72	4	173	160	143	122	95	67
200		167	147	121	94	57		169	155	136	112	85	—
250		166	145	119	89	47		169	154	135	106	—	—
300		166	145	120	88	50		169	152	133	105	—	—
400		166	145	119	88	50		169	153	133	106	—	—

t °C.	Bezeichnung	Biegungswinkel nach Schlag aus Höhe (m)							
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
15	5	176	170	160	149	136	115	97	—
200		175	167	156	140	122	96	—	—
250		175	167	155	138	118	90	—	—
300		175	167	155	138	117	85	—	—
400		175	164	147	126	99	72	—	—
15	6	168	148	124	96	67	—	—	—
200		162	139	112	81	48	—	—	—
250		162	138	110	80	48	—	—	—
300		163	140	111	80	45	—	—	—
400		162	137	109	74	—	—	—	—
15	7	178	174	168	160	150	139	125	109
300		177	172	164	148 Bruch	—	—	—	—

II. Zugversuche.

Bezeichnung	t ° C.	K_z kg/qcm	φ %	ψ %
Weiches Flußeisen mit 0,06 % Kohlenstoffgehalt	15	3210	37,4	73,6
	200	4140	20,0	63,1
	250	4210	20,8	60,4
Weicher Stahl mit 1 % Nickel und 0,09 % Kohlenstoff	15	4070	34,5	71,3
	200	4460	22,3	74,0
	250	4410	23,9	72,5

12. Versuche von Stanger. (Engineering 1895, II.)

Da bei der Veröffentlichung jede Angabe über die Versuchseinrichtung fehlt, so können die Ergebnisse der Untersuchung, welche sich auf schmiedbare Bronze, Eisen, Gelbguß, Naval-brass, gewalztes Bull's metal, Cog-wheel-brand-phosphorbronze, Kanonenmetall und brassy gun metal erstreckt, hier nicht eingehend behandelt werden. Von einer Mitteilung derselben wird abgesehen, weil anzunehmen sein dürfte, die benutzte Anordnung werde, wie die meisten im vorstehenden besprochenen Einrichtungen, mit erheblichen Mängeln behaftet sein, welche auf die Zuverlässigkeit der Ergebnisse einen ungünstigen Einfluß äußern.

13. Versuche von Professor R. C. Carpenter. (Engineering 1896, I.)

Die verwendete Versuchseinrichtung weicht von allen bisher beschriebenen bedeutend ab. Der Probestab wurde in eine horizontale Prüfungsmaschine in gewöhnlicher Weise eingespannt. Um denselben wurde dann ein (zweiteiliger) gußeiserner Mantel von erheblicher Stärke gelegt, welcher etwa 50 mm länger war als die Meßstrecke. Dieser Mantel wurde durch Bunsenbrenner von außen erhitzt und mußte Wärme an den Probestab abgeben. Die Temperatur des letzteren wurde durch ein Quecksilberthermometer bestimmt, welches auf seiner Oberfläche aufstand und in einer Bohrung des Gußeisenmantels stak.

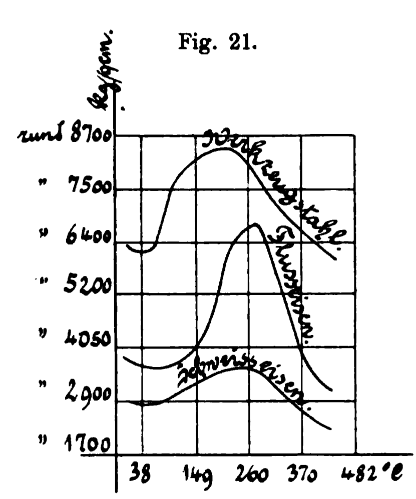
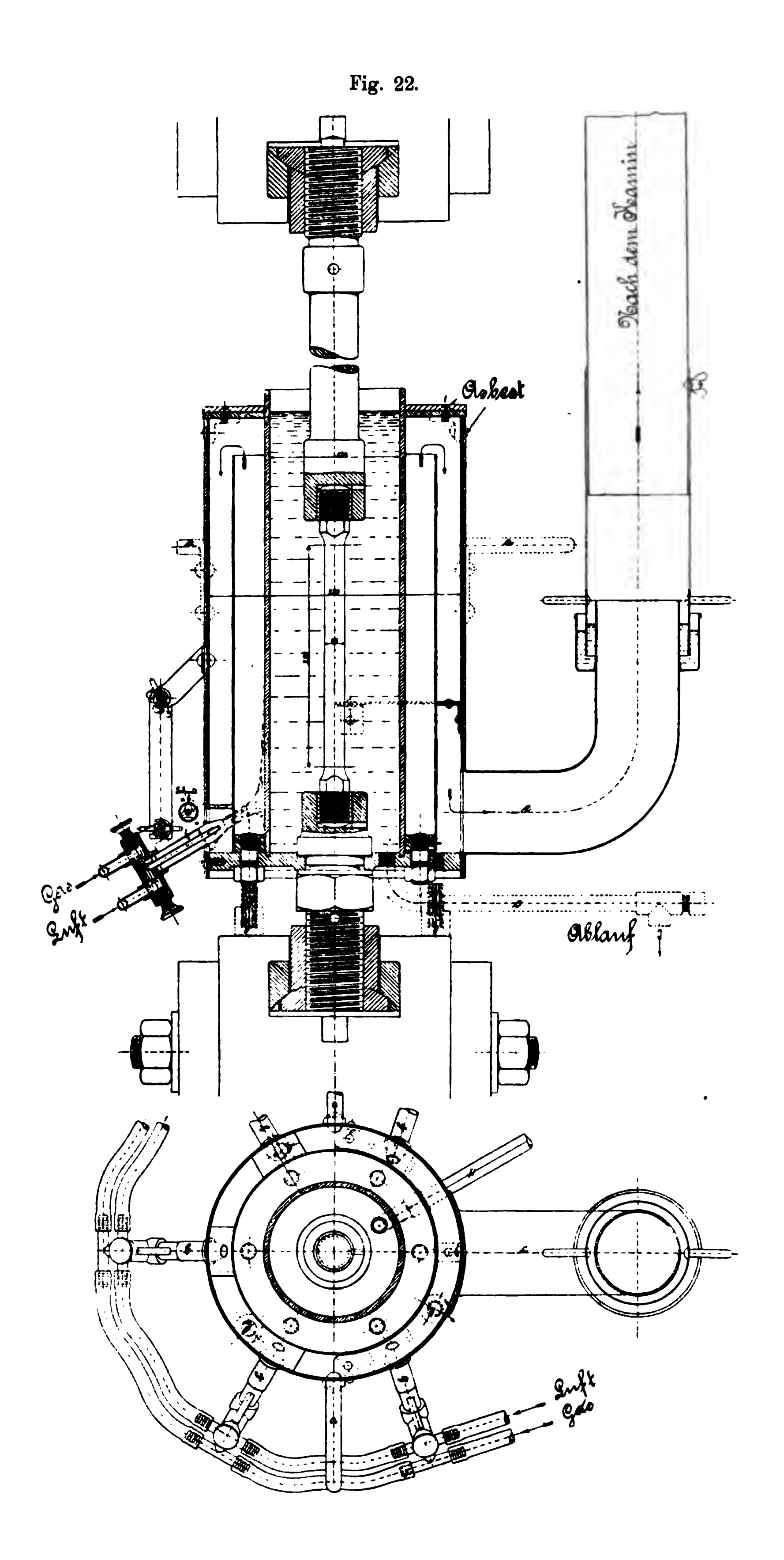


Fig. 21.

Bei dieser Anordnung kann infolge der Abkühlung an den Stabköpfen von einer gleichmäßigen Erwärmung der Meßstrecke nicht die Rede sein. Ebensowenig darf angenommen werden, das Thermometer gebe die Temperatur des Probestabes genau an; die Größe des Quecksilbergefäßes pflegt so erheblich zu sein, daß zu erwarten steht, ein Teil desselben habe sich innerhalb des Gußeisenmantels befunden, welcher bei der angedeuteten Versuchsanordnung beträchtlich wärmer sein mußte als der Probestab [1]).

[1]) Die Größe des Temperaturunterschiedes hängt davon ab, wie innig sich Mantel und Probestab berührten. Im Laufe des Versuches, d. h. nach eingetretener Querzusammenziehung

Fig. 22.



In Fig. 21 sind die ermittelten Zugfestigkeiten für Werkzeugstahl, Fluß- und Schweißeisen entsprechend dem im „Engineering“ gegebenen Schaubilde verzeichnet. Von einer Mitteilung der Dehnungswerte wird abgesehen, weil diese durch Mängel in der Versuchsanordnung zu bedeutend beeinflußt zu werden pflegen.

14. Versuche von C. Bach.

(Nach „Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure“.)

a) Versuche über die Abhängigkeit der Festigkeit und Dehnung der Bronze von der Temperatur. 1900.

Die Erwärmung der Probestäbe erfolgte in einem Ofen, dessen Anordnung aus Fig. 22 hervorgeht. Die Verbindung des Versuchskörpers mit den Einspannköpfen der (senkrechten) Zerreißmaschine erfolgte durch Verlängerungsstücke, welche mit erwärmt wurden und zwar in einem solchen Maße, daß angenommen werden darf, die Abkühlung infolge Wärmeleitung werde sich nicht bis auf den Probestab, jedenfalls aber nicht bis zur Meßlänge erstrecken. Durch Anordnung zahlreicher Gebläseflammen, welche einen erheblichen Teil der Wand des das Wärmbad enthaltenden Gefäßes bestreichen, sowie durch sorgfältige Führung der Abgase ist darauf hingewirkt, daß das Bad möglichst gleichmäßig erhitzt wird. Durch lebhaftes Umrühren wurden Wärmeunterschiede, wie sie z. B. durch Abkühlung am Flüssigkeitsspiegel hervorgerufen werden, zum Verschwinden gebracht, wovon man sich durch häufige Thermometerbeobachtungen überzeugte. Es darf daher vorausgesetzt werden, die Erwärmung des Probestabes sei eine gleichförmige gewesen. Daß die Temperatur desselben mit der des Wärmbades übereinstimme, wurde dadurch zu erreichen gesucht, daß man die Erwärmung des Bades [1]) vor Beginn des Versuches ein wenig über die gewünschte Höhe hinaus steigerte und dann langsam bis zu dem beabsichtigten Wärmegrad sinken ließ (genaue Angaben hierüber finden sich im Originalbericht), welcher dann während des Versuches genau eingehalten wurde. Die Versuchsdauer betrug vom Beginn der Belastung an 15 bis 25 Minuten. Die Belastungssteigerung erfolgte stetig.

Im folgenden sind die Mittelwerte aus den Versuchsergebnissen, sowie die kleinsten beobachteten Einzelwerte der Zugfestigkeit und die zugehörigen Zahlen für Bruchdehnung und Querschnittsverminderung angegeben [2]). Letzteres aus dem Grunde, weil bei Gebrauchsgegenständen der kleinste auftretende Wert ausschlaggebend zu sein pflegt. Die zeichnerische Darstellung der Mittelwerte erfolgt in den Fig. 20, 23 u. 24.

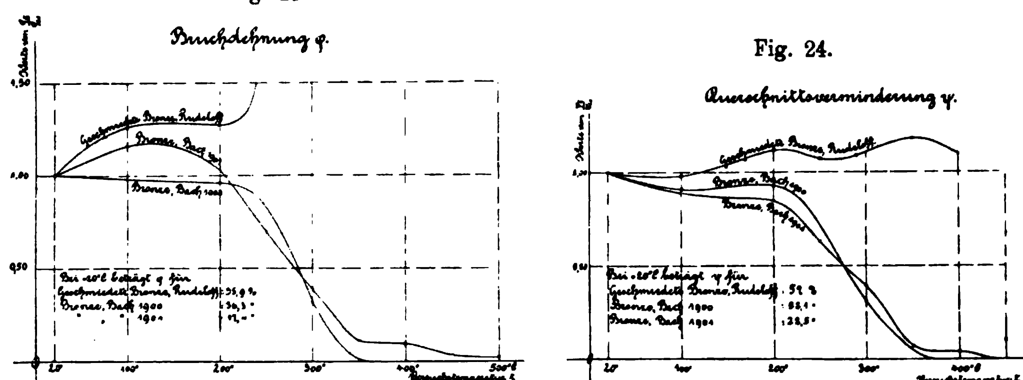
---

infolge der Längsdehnung, vermehrt sich der Zwischenraum zwischen beiden und damit der Fehler in der Wärmemessung.

[1]) Als Wärmbad diente bei 100 und 200° C. Palmin, bei höheren Wärmegraden ein Gemisch von etwa gleichen Teilen Kali- und Natronsalpeter. Eine nennenswerte Einwirkung der Bäder auf das untersuchte Material trat nicht ein, wie chemische Untersuchungen ergaben.

[2]) Hierbei wurden die Ergebnisse mit Stäben, welche außerhalb der Meßlänge oder sehr nahe am Ende derselben brachen, nicht berücksichtigt.

Fig. 23. Fig. 24.



Die chemische Zusammensetzung der Bronze, welche 91 % Kupfer, 5 % Zinn und 4 % Zink enthalten sollte, war die folgende:

Kupfer %	Zinn %	Zink %	Blei %	Eisen %	Phosphor, Arsen, Schwefel,
91,35	5,45	2,87	0,280	0,025	Antimon u. s. f. kaum Spuren.

Versuchsergebnisse (Mittelwerte).

Temperatur t ° C.	20	100	200	300	400	500
Zugfestigkeit K_z kg/qcm	2395	2424	2245	1358	625	442
Bruchdehnung φ % . . . . (Meßlänge 200 mm, Durchmesser 20 mm)	36,3	35,4	34,7	11,5	0	0
Querschnittsverminderung ψ %	52,1	47,4	48,2	16,2	0	0

Die Bestimmung der Querschnittsverminderung ist, nach Angabe des Originalberichts, wegen der Unregelmäßigkeiten, die der Bruchquerschnitt infolge der eigenartigen Formänderungen der Stäbe annimmt, mit erheblicher Unsicherheit behaftet.

Hinsichtlich der im Originalbericht enthaltenen Angaben über die Größe des Dehnungskoeffizienten für das untersuchte Material muß auf denselben verwiesen werden, weil nur Messungen bei gewöhnlicher Temperatur vorgenommen werden, welche nicht in das Gebiet der vorliegenden Arbeit gehören.

Kleinstwerte.

t ° C.	20	100	200	300	400	500
K_z kg/qcm . .	2259	2391	2295	1153	596	395
φ % . .	31,6	34,1	35,5	8,5	0	0
ψ % . .	51,1	46,4	46,0	12,1	0	0

Ein Vergleich der beiden Zusammenstellungen der Festigkeitseigenschaften zeigt, daß das Material als sehr gleichmäßig zu bezeichnen ist.

b) Versuche über die Druckfestigkeit hochwertigen Gußeisens und die Abhängigkeit der Zugfestigkeit desselben von der Temperatur. 1901.

Die Versuchsanordnung und -durchführung für die Warmversuche war dieselbe, wie unter a) beschrieben.

Zusammensetzung des untersuchten Materials.

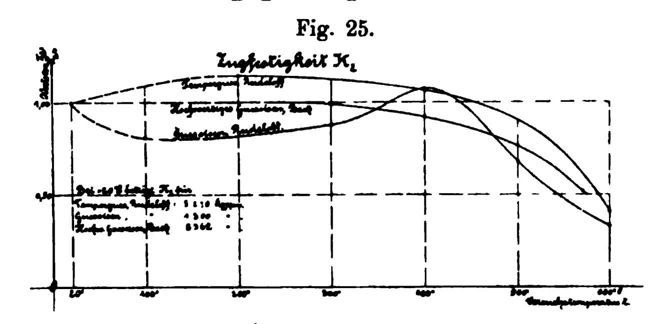
	Graphit-Kohlenstoff	Gebundener Kohlenstoff	Mangan	Kupfer	Silizium	Schwefel	Phosphor	Arsen	Antimon
%	2,79	0,84	1,93	0,161	1,225	0,080	0,124	0,029	Spuren
%	2,91	0,74	1,53	0,179	1,131	0,090	0,192	0,028	„

Versuchsergebnisse (Mittelwerte).

Temperatur ° C.	rund 20	300	400	500	570
Zugfestigkeit kg/qcm . .	2362	2335	2177	1793	1230
Kleinste Werte von K_z.	2331	2301	2172	1729	1223

Die zeichnerische Darstellung gibt Fig. 25.

Fig. 25.



c) Versuche über die Abhängigkeit der Zugfestigkeit und Bruchdehnung der Bronze von der Temperatur. 1901.

Die Versuchsdurchführung ist dieselbe wie unter a) angegeben.

Die Zusammensetzung des Materials war die folgende:

	Kupfer	Zinn	Zink	Blei	Eisen	Phosphor
%	85,95 bis 87,00	9,75 bis 8,88	3,64 bis 4,30	0,35 bis 0,498	0,036 bis 0,09	0,015 bis 0,040

Arsen Antimon Schwefel
Spuren.

Bei 100 und 200° C. wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt, welche erhebliche Unterschiede in den Ergebnissen aufweisen.

Es ergab sich	Erste Versuchsreihe		Zweite Versuchsreihe	
	100°	200°	100°	200°
Zugfestigkeit kg/qcm, Mittelwert . . .	2040	2067	2477	2381
" " Kleinstwert . . .	1854	1879	2392	2306
Bruchdehnung [1]) %, Mittelwert	13,6	13,1	20,1	17,9
" " Kleinstwert	11,6	12,5	19,2	15,0
Querschnittsverminderung %, Mittelwert .	15,8	15,5	20,0	19,1
" " Kleinstwert	13,4	13,4	18,8	15,3

Ein Vergleich der Ergebnisse der beiden Versuchsreihen zeigt, welch bedeutende Unterschiede in den Eigenschaften von Bronze bei gleichzeitiger Herstellung vorhanden sein können.

Die folgende Zusammenstellung enthält die Mittelwerte der Versuchsergebnisse, wobei jeweils die zweiten Versuchsreihen bei 100 und 200° C. berücksichtigt wurden.

t° C.	20	100	200	250	300	350	400	450	500
K_z kg/qcm	2491	2477	2381	2031	1610	1158	1113	831	693
φ % [1])	17,4	20,1	17,9	12,1	6,8	2,0	1,5	0,5	0.3
ψ %	22,5	20,0	19,1	14,1	8,8	1,5	1,0	0	0

[1]) Durchmesser des Probestabes 20 mm, Meßlänge 200 mm.

Die kleinsten Werte für die Zugfestigkeit K_z, welche bei jeder Temperatur erhalten wurden (bei Stäben, welche nicht außerhalb der Meßlänge oder in nächster Nähe der Enden derselben brachen), und die zugehörigen Werte der Bruchdehnung φ und Querschnittsverminderung ψ sind die folgenden:

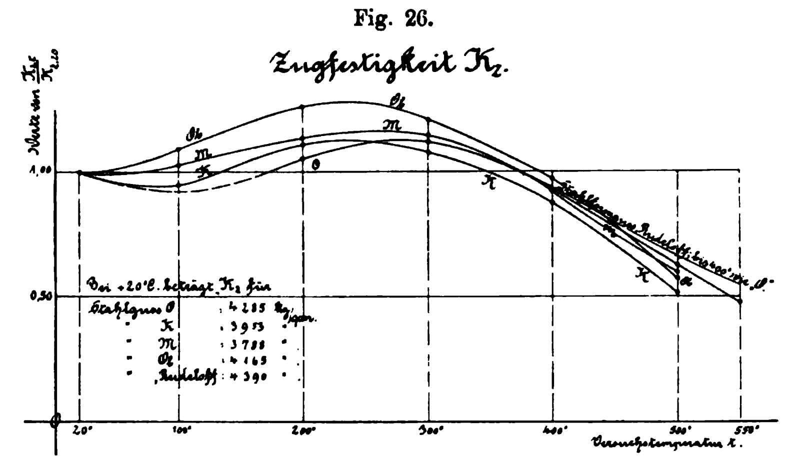
t° C.	20	100	200	250	300	350	400	450	500
K_z kg/qcm	2372	1854	1879	1968	1576	1139	1003	831	608
φ %	15,9	11,6	12,5	12,3	7,4	1,4	0,9	0,5	0,25
ψ %	21,1	13,4	13,4	13,4	8,6	1,0	0,6	0	0

Die zeichnerische Darstellung der Versuchsergebnisse (Mittelwerte) ist in den Fig. 20, 23 und 24 enthalten.

d) Versuche über die Festigkeitseigenschaften von Stahlguß bei gewöhnlicher und höherer Temperatur. 1903.

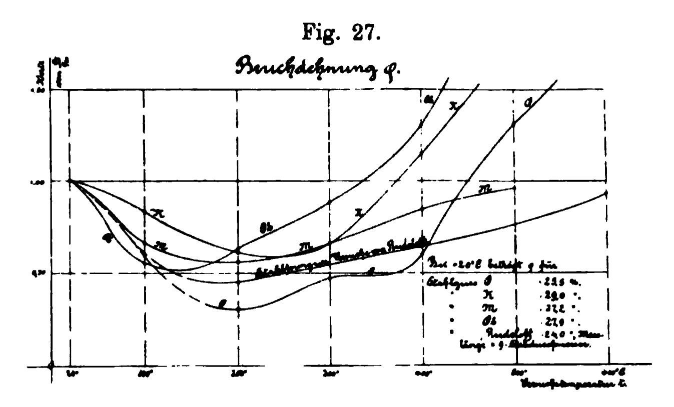
Die Versuchsdurchführung ist wie unter a) besprochen. Untersucht wurden drei Stahlgußarten, bezeichnet im folgenden mit O, K und M.

Fig. 26.



Bei den Ergebnissen für Stahlguß O ist bemerkenswert, daß zwar bei gewöhnlicher Temperatur und bei 200° C. die erzielten Einzelwerte nur unerheblich von-

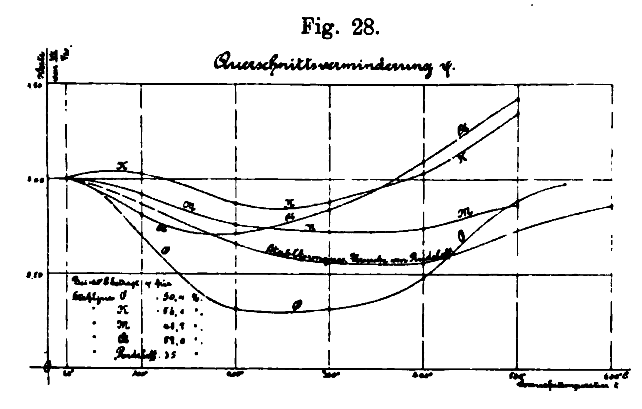
Fig. 27.



einander abweichen, daß dies aber bei höheren Wärmegraden nicht mehr der Fall ist. Aehnliches ist auch bei Material K, wenn auch in geringerem Maße, zu beobachten. Da anzunehmen ist, daß solche Unterschiede auch in ausgeführten Stücken

auftreten werden, so ist dem jedenfalls bei Verwendung von Stahlguß ähnlicher Beschaffenheit Rechnung zu tragen, und es ist durch geeignete Formgebung der Ausgleich der durch solch verschiedene Eigenschaften bei eintretender Anstrengung bedingten inneren Spannungen zu ermöglichen.

Fig. 28.



Außer den Versuchen mit gewöhnlicher Belastungsdauer (rund $^1/_2$ Stunde) wurden auch Dauerversuche ausgeführt, aus deren Ergebnissen hervorgeht, daß der Einfluß der Zeit, während welcher die Zugkraft am Stabe wirkt, erst bei Wärmegraden über 300° C. Bedeutung erlangt. (Ueber den Einfluß der Belastungsdauer bei Kupfer und Duranametall vergl. die Versuche von Stribeck unter 16. Hierher gehören auch die Untersuchungen von Le Chatelier, über welche kurz unter 6 berichtet wurde.)

Die Versuchsergebnisse sind im folgenden kurz mitgeteilt.

Mittelwerte aus den Versuchen mit gewöhnlicher Belastungsdauer.

t °C.	Stahlguß O			Stahlguß K			Stahlguß M		
	K_z kg/qcm	φ %[1]	ψ %	K_z kg/qcm	φ %[1]	ψ %	K_z kg/qcm	φ %[1]	ψ %
20	4285	25,5	50,4	3953	29,0	56,1	3788	27,2	48,7
100	—	—	—	3745	24,2	57,5	3881	17,9	44,9
200	4502	7,7	15,9	4377	17,7	48,8	4292	15,2	36,9
300	4788	12,0	15,8	4242	19,0	49,4	4319	18,0	34,7
400	3984	15,3	24,1	3473	33,3	58,0	3496	22,8	36,1
500	2691	33,3	44,6	2043	51,3	75,7	2274	26,1	42,1
550	2071	39,5	49,2	—	—	—	—	—	—

Kleinste Werte von K_z und zugehörige Größen von φ und ψ.
Die eingeklammerten Zahlen gelten für lange Belastungsdauer.

t °C.	Stahlguß O			Stahlguß K			Stahlguß M		
	K_z kg/qcm	φ %	ψ %	K_z kg/qcm	φ %	ψ %	K_z kg/qcm	φ %	ψ %
20	4232	24,5	49,7	3914	28,9	57,0	3608	19,1	26,7
100	—	—	—	3732	23,8	57,0	3726	19,3	40,8
200	4454	9,1	15,1	3801	22,4	55,7	4255	13,8	36,6
300	4889	10,8	13,4	4217	23,9	50,3	4268	18,8	38,2
300				(3764)	(23,8)	(56,4)	(4140)	(16,5)	(21,7)
400	4121	35,2	55,1	3287	32,2	58,9	3443	28,0	43,6
400				(2548)	(44,2)	(66,9)	(3185)	(22,4)	(35,0)
500	2707	22,3	32,2	1962	54,5	79,3	2137	11,9	27,7
500				(1529)	(44,0)	(60,2)	(1561)	(2,8)	(14,3)
550	1924	7,3	17,2	—	—	—	—	—	—

Die zeichnerische Darstellung der Versuchsergebnisse (Mittelwerte) erfolgt in den Fig. 26, 27 und 28.

[1]) Stabdurchmesser 20 mm, Meßlänge 200 mm.

e) Versuche über die Festigkeitseigenschaften von Stahlguß bei gewöhnlicher und höherer Temperatur. 1904.

Die Versuchsdurchführung ist dieselbe, wie oben beschrieben.

Untersucht wurde ein Stahlgußmaterial Ob, welches von derselben Firma hergestellt war, welche den unter d) genannten Stahlguß O erzeugt hatte.

Die zeichnerische Darstellung der Versuchsergebnisse (Mittelwerte) ist in Fig. 26, 27 und 28 enthalten.

Versuchsergebnisse, Mittelwerte, gewöhnliche Belastungsdauer.

t^0 C.	20	100	200	300	400	500
K_z kg/qcm	4165	4567	5253	5052	4043	2365
φ %	27,9	15,5	17,6	24,5	36,3	63,6
ψ %	57,0	46,1	40,6	47,7	62,5	80,7

Kleinste Werte, gewöhnliche Belastungsdauer.

t^0 C.	20	100	200	300	400	500
K_z kg/qcm	4108	4484	5210	4987	3987	2234
φ %	28,3	16,1	19,0	14,5	41,4	66,4
ψ %	60,2	47,9	36,0	19,1	66,2	80,6

f) Versuche über die Festigkeitseigenschaften von Flußeisenblechen bei gewöhnlicher und höherer Temperatur. 1904.

Die Durchführung der Versuche erfolgte, wie unter a) beschrieben. Ein Teil der Versuchsstäbe besaß einen Durchmesser von nur 10 mm (bedingt durch die Stärke des eingelieferten Blechmaterials); die Meßlänge für dieselben betrug daher 100 mm. Für die Befestigung der Stäbe im Ofen Fig. 22 wurden infolge der kleineren Abmessungen der Stabköpfe Reduktionsstücke erforderlich.

Die Ergebnisse dieser Versuche verdienen besondere Beachtung deshalb, weil das untersuchte Material den im Kesselbau selbst verwendeten Blechen entnommen wurde, ja zum Teil von Kesseln stammte, welche jahrelang im Betrieb gestanden waren.

Untersucht wurde das Material von 15 Blechen, und zwar von

6 neuen Feuerblechen, bezeichnet E, V, B, BB, W, T;
2 alten Feuerblechen, bezeichnet A, B.;
4 neuen Mantelblechen, bezeichnet VUI, KRI, SchI, KRII, von höherer Festigkeit;
1 neuen Mantelblech, bezeichnet VO, von gewöhnlicher Festigkeit;
2 alten Mantelblechen, bezeichnet C, D.

Bezüglich der Ergebnisse der chemischen Untersuchung muß auf den Bericht selbst verwiesen werden. Hier soll nur dasjenige angeführt werden, was geeignet scheint, Anhaltspunkte für die Beurteilung der Bleche zu bieten.

Es ergab sich für Blech

KRI ein Nickelgehalt von 0,094 % (Mangan und Nickel 1,200 %),
KRII „ „ „ 0,092 % („ „ „ 1,224 %),
A, T, VUI die Eigentümlichkeit, daß das Metall der Auflösung in Chromsäure-Schwefelsäure-Gemisch auffallenden Widerstand entgegensetzte.

Die Ergebnisse der Festigkeitsuntersuchung sind im folgenden für Feuer- und Mantelbleche je gesondert angeführt.

Feuerbleche.

Werte der Zugfestigkeit (Mittelwerte). kg/qcm.

Material	20	100	200	300	400	500 ° C.
E	3561	—	5140	4352	3200	—
V	3180	—	4419	3995	2763	—
B	3810	—	4975	4803	3820	—
BB	3133	—	3985	3801	2922	—
W	3710	—	4973	4409	3201	—
T	3394	—	5365	4317	2624	—
A	3420	3555	4162	4063	2938	1650
B·	3431	3541	4225	4264	2900	1669

Werte der Spannungen an der Streckgrenze[1]). kg/qcm.

Material	20	100	200	300	400	500 ° C.
E	2649 2176	—	2391 2105	1373	[2])	—
V	2802 2093	—	2218 1904	[2])	[2])	—
B	2695 2438	—	2532 2259	[2])	[2])	—
BB	2335 1924	—	2097 1705	[2])	[2])	—
W	3007 2579	—	2889 2464	[2])	[2])	—
T	2845 2261	—	2418 2121	[2])	[2])	—
A	2128[3])	1992[3])	[2])	[2])	[2])	[2])
B·	2143[3])	1971[3])	[2])	[2])	[2])	[2])

Querschnittsverminderungen ψ %.

Material	20	100	200	300	400	500 ° C.
E	69,3	—	55,1	63,7	64,6	—
V	76,3	—	61,4	70,9	77,9	—
B	68,0	—	55,1	56,0	66,7	—
BB	75,0	—	64,1	66,7	75,9	—
W	68,8	—	47,3	52,1	65,8	—
T	73,4	—	52,7	68,2	81,7	—
A	64,8	56,9	55,0	50,0	67,5	75,0
B·	66,3	60,0	54,4	62,5	70,0	75,0

[1]) In der Regel sind 2 Werte angegeben: obere und untere Streckgrenze, außer in den Fällen, wo nur 1 Wert zu beobachten war.

[2]) Nicht ausgeprägt vorhanden.

[3]) Bei den alten Blechen wurde nur 1 Wert ermittelt.

Bruchdehnungen φ %.

Material	20	100	200	300	400	500 ° C.
E	28,4	—	18,9	34,8	38,2	—
V	34,7	—	14,8	36,5	43,7	—
B	28,7	—	16,9	23,8	34,5	—
BB	37,7	—	18,2	29,1	33,2	—
W	29,3	—	17,6	30,0	36,8	—
T	28,6	—	26,4	39,1	49,7	—
A	29,4	16,4	17,8	34,1	41,5	60,4
B·	23,2	17,1	15,6	26,1	37,3	56,2

Mantelbleche.

Zugfestigkeit. kg/qcm.

Material	20	100	200	300	400	500 ° C.
VU I	4232	—	5100	4923	3888	—
KR I	5392	—	5973	6355	5050	—
Sch I	4445	—	5515	5261	4274	—
KR II	5745	—	5946	6551	5206	—
VO	3934	—	5018	4566	3568	—
C	3829	3935	4443	4575	3635	2050
D	3940	4110	4638	4799	3889	2233

Bei längerer Belastungsdauer ergab sich
bei 400 ° C. für Blech C: 3125, für Blech D: 3322 kg/qcm,
„ 500 ° C. „ „ C: 1563, „ „ D: 1688 „

Werte der Spannungen an der Streckgrenze[1]). kg/qcm.

Material	20	100	200	300	400	500 ° C.
VU I	2559 } 2245 }	—	2328 } 2145 }	2141 } 2002 }	[2])	—
KR I	4021 } 3414 }	—	3383 } 3013 }	3006 } 2732 }	[2])	—
Sch I	2756 } 2524 }	—	2525 } 2285 }	2304 } 2247 }	[2])	—
KR II	4424 } 3548 }	—	3151 } 2914 }	2874 } 2811 }	[2])	—
VO	3530 } 2595 }	—	2912 } 2201 }	1878 } 1685 }	[2])	—
C	2641[3])	2521[3])	[2])	[2])	[2])	[2])
D	2621[3])	2800[3])	2566[3])	[2])	[2])	[2])

---

[1]) In der Regel sind 2 Werte angegeben: obere und untere Streckgrenze, außer in den Fällen, wo nur 1 Wert zu beobachten war.
[2]) Nicht ausgeprägt vorhanden.
[3]) Bei den alten Blechen wurde nur 1 Wert ermittelt.

Bruchdehnungen. %.

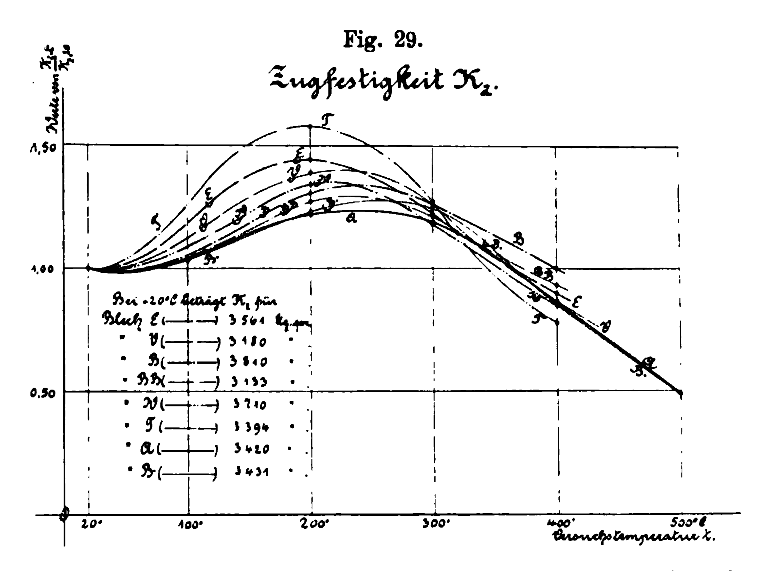
Material	20	100	200	300	400	500 ° C.
VU I	24,5	—	14,8	27,3	29,8	—
KR I	22,8	—	12,0	25,4	18,8	—
Sch I	26,8	—	14,9	24,1	28,6	—
KR II	21,4	—	9,7	20,5	18,7	—
VO	29,2	—	15,6	25,0	32,5	—
C	25,0	15,0	13,6	19,4	23,2	54,2
D	26,0	16,3	15,0	19,2	30,5	56,1

Querschnittsverminderungen ψ.

Material	20	100	200	300	400	500 ° C.
VU I	65,1	—	50,2	56,7	66,5	—
KR I	63,7	—	51,9	56,3	64,9	—
Sch I	66,6	—	51,9	56,7	66,3	—
KR II	45,2	—	34,7	40,0	50,3	—
VO	66,2	—	55,3	53,2	69,6	—
C	65,0	58,8	57,5	55,0	58,8	75,0
D	66,3	56,3	52,5	51,7	48,8	71,3

Die zeichnerische Darstellung erfolgt für die Feuerbleche in den Fig. 29, 30 und 31, für die Mantelbleche in den Fig. 32, 33 und 34.

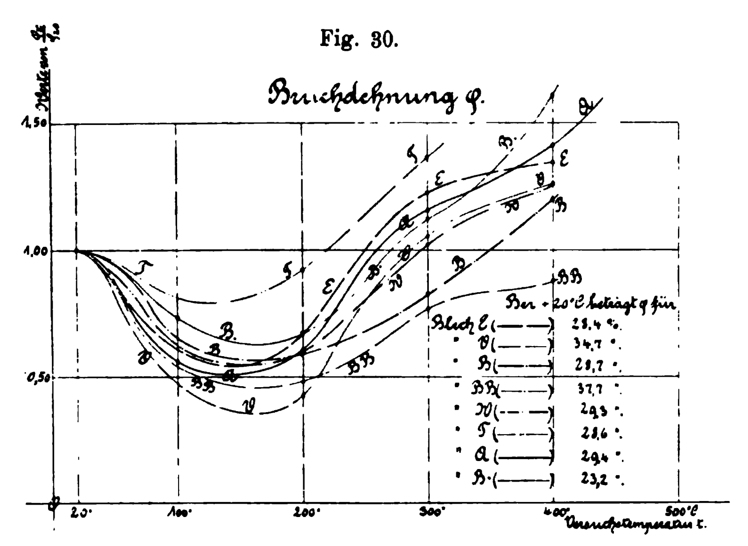
Fig. 29.



Es ist von Interesse, zu verfolgen, wie sich Eigentümlichkeiten in der chemischen Zusammensetzung in dem Verlauf der Linienzüge, welche die Veränderlichkeit der Festigkeitseigenschaften mit steigender Erwärmung wiedergeben, ausprägen. Besonders auffallend ist das Verhalten des Materiales T (Feuerbleche) und dasjenige von KR I und KR II (Mantelbleche). Die letzteren zeigen zweimaliges Abnehmen der Bruchdehnung.

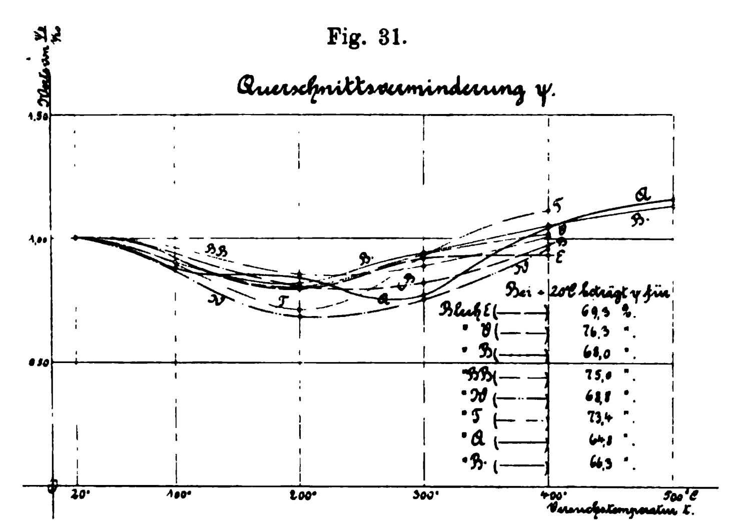
Betrachtet man in Fig. 29 die Linienzüge für die Feuerbleche E, V, B, BB, W, A, B· und in Fig. 32 die Kurven für die Mantelbleche VUI, SchI, VO, C, D, läßt man also die Bleche T, KRI und KRII, welche sich auch bei der chemischen

Fig. 30.



Untersuchung wesentlich anders verhalten als die übrigen, außer acht, so erkennt man, daß sich gleichartige Materialien namentlich bei Temperaturen über 300° C. hinsichtlich der Aenderung der Zugfestigkeit verhältnismäßig wenig voneinander unterscheiden. Eine Betrachtung der übrigen zugehörigen Figuren zeigt, daß diese

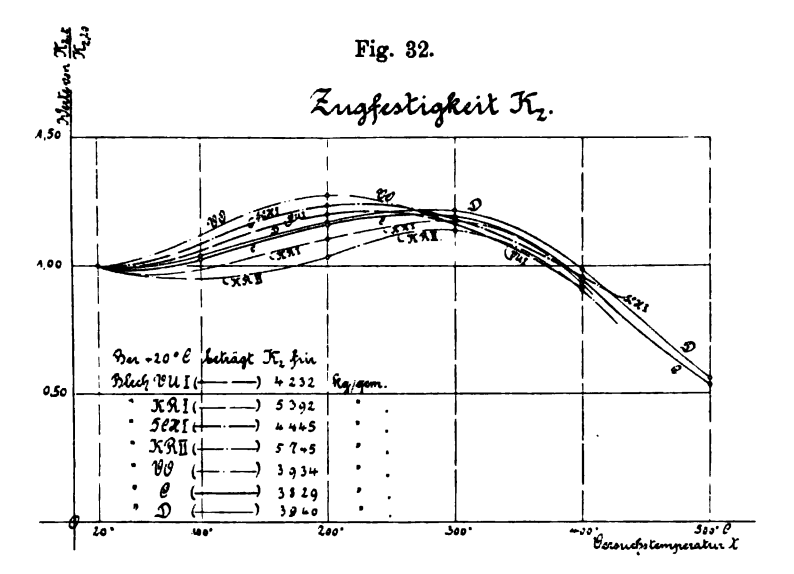
Fig. 31.



Uebereinstimmung hinsichtlich der Querschnittsverminderung, namentlich aber in Bezug auf die Bruchdehnung nicht vorhanden ist.

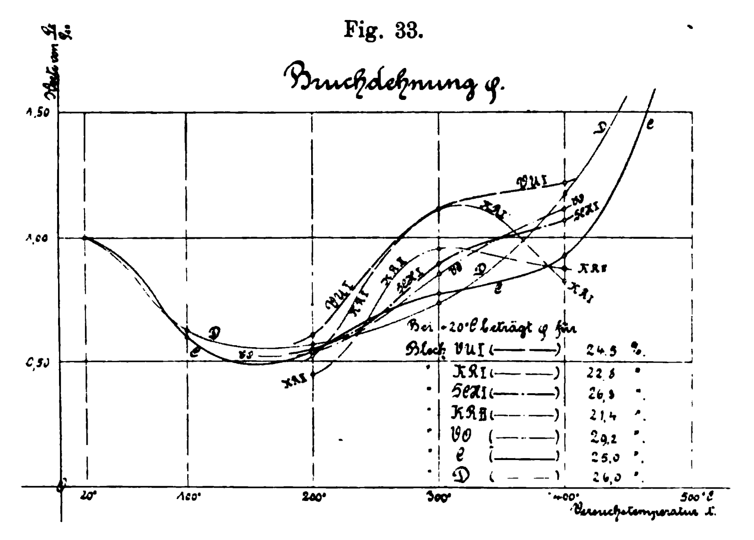
Beachtenswert ist ferner, daß alle „neuen" Bleche bei 200° C. noch ausgeprägte Streckgrenze besitzen, während eine solche bei den meisten „alten" Blechen (A, B·, C) fehlt. Auch bei 300° C. weisen alle „neuen" Mantelbleche deutliche Streckgrenze auf. Dieser Umstand deutet darauf hin, daß das Material im Betriebe (durch Erwärmung und Anstrengung) Veränderungen unterworfen ist. Darüber, ob diese ganz

Fig. 32.



oder teilweise durch Ausglühen beseitigt werden können, müßten besondere Versuche entscheiden, welche auch das Verhalten verschiedener Materialien (z. B. mit wachsendem Gehalt an Verunreinigungen) ermitteln könnten [1]).

Fig. 33.



Von Interesse ist noch, daß sich aus den Versuchen mit langer Belastungsdauer schließen läßt, ein nennenswerter Einfluß auf die Ergebnisse der Zugversuche sei bei Eisenmaterial erst bei Temperaturen über 300° C. zu erwarten.

g) Die Bildung von Rissen in Kesselblechen. 1906.

In dieser Arbeit sind die Ergebnisse von Warmversuchen mit mehreren Blechen, in denen sich nach längerer Betriebszeit Risse gebildet hatten, mitgeteilt. Die Untersuchungen über das Verhalten des Materials in höherer Temperatur sind in gleicher

---

[1]) Vergl. auch die Arbeit von Vanderheym, S. 66.

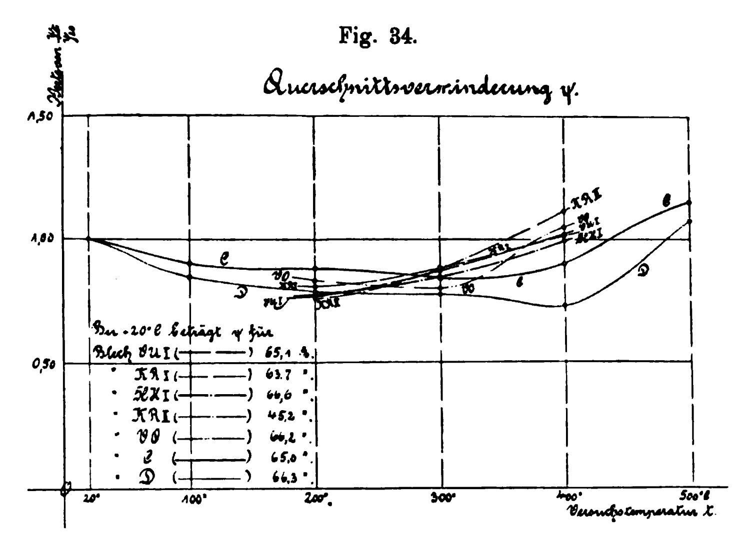


Fig. 34.

Weise ausgeführt worden, wie unter a) beschrieben. Die ermittelten Werte finden sich in der folgenden Tabelle sowie in den Fig. 35, 36 und 37, soweit sie nicht

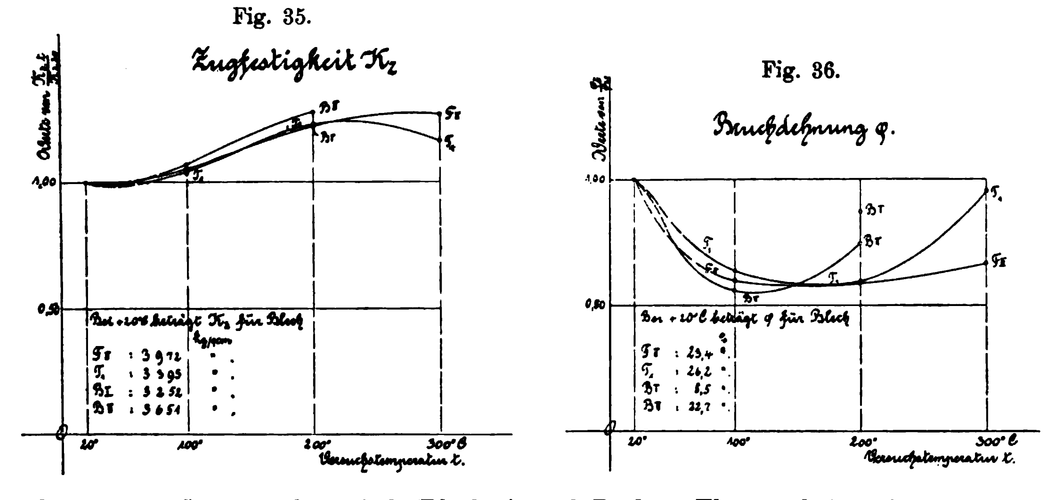


Fig. 35.

Fig. 36.

schon unter f) angegeben sind (Blech A und B des „Flammrohrkessels im Gebiet des Rheinischen Dampfkesselüberwachungsvereines"). Im folgenden bezeichnet

F I das Material des „Flammrohrkessels aus dem Gebiet des Württembergischen Dampfkesselrevisionsvereines";

F II das Material des „Flammrohrkessels aus dem Gebiet des Märkischen Vereines zur Ueberwachung von Dampfkesseln";

T das Material des Tenbrinkkessels aus dem Gebiet des Württembergischen Dampfkesselrevisionsvereines;

B I bezw. B II das Material von zwei Kesseln aus dem Gebiet des Bayerischen Revisionsvereines.

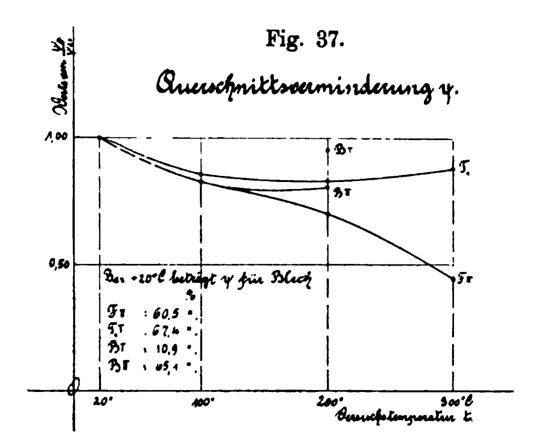
(B I ist dargestellt in Fig. 23 des Originalberichtes; B II ist in der Zeitschrift des Bayerischen Revisionsvereines erwähnt.)

Unter diesen Blechen zeigt besonders F II ein ganz außergewöhnliches Verhalten hinsichtlich der Veränderlichkeit der Querschnittsverminderung ψ bei steigender

Temperatur (vergl. Fig. 37). Diese weist bis 300° C. so entschiedene Abnahme auf, wie bei keinem der zahlreichen anderen Blechmaterialien zu beobachten war. Von der großen Anzahl von Flußeisensorten, über welche im vorstehenden berichtet ist, zeigt nur das Metall der Härtestufe III in Fig. 5 so bedeutendes Abfallen der Querschnittsverminderung [1]). Es muß dahingestellt bleiben, ob diese Erscheinung eine Folge der Einflüsse ist, denen das Material F II im Betriebe oder bei Herstellung des Kessels ausgesetzt war, oder ob das Blech im ursprünglichen Zustand dieselbe Eigentümlichkeit besessen hat, wobei zu beachten ist, daß das Blech schon bei 200° C. eine deutliche Streckgrenze nicht mehr aufweist (s. oben).

Daß Kesselblech durch die Einwirkung der Heizgase, durch die einseitige Erwärmung, die zahlreichen und heftigen Wärmeschwankungen, denen es ausgesetzt ist, sowie infolge der Beanspruchungen, die außer durch den Dampfdruck von der

Fig. 37.



Wärmeausdehnung einzelner Kesselteile hervorgebracht werden, ferner durch die inneren Spannungen auf Grund bedeutender Temperaturunterschiede benachbarter Punkte (z. B. in der Nähe von Einmauerung, Kesselfüßen u. s. f.) erhebliche Veränderung seiner Festigkeitseigenschaften erfahren kann, scheint nicht ausgeschlossen [2]). Leider lassen die bei der Abnahme der Bleche ermittelten Festigkeitszahlen keine Schlüsse in dieser Richtung zu: Bei zwei Materialien — und zwar sind das solche, deren Festigkeit sich bei Prüfung nach Eintritt der Rißbildung als verhältnismäßig gering, in einem Fall sogar als unterhalb der zulässigen Grenze liegend ergeben hatte — waren die am ursprünglichen Blech bestimmten Werte größer als die nachträglich gefundenen, bei zwei anderen Blechen war das Entgegengesetzte der Fall.

[1]) Es ist zu beachten, daß, wie zu Fig. 3 bemerkt wurde, die zugehörigen drei Versuchsstäbe sämtlich ganz am einen Ende der Meßlänge brachen, wodurch eine Verminderung der Größe von ψ bedingt sein dürfte. Es steht zu erwarten, daß die Abnahme von ψ bei 300° C. weniger erheblich ausgefallen sein würde, wenn der Bruch der Probestäbe mehr in der Mitte der Meßstrecke erfolgt wäre.

[2]) Vergl. S. 66. In der Beilage K zur angeführten Arbeit berichtet Vanderheym über Versuche an Eisenbahnachsen nach erfolgtem Bruch im Betrieb. Das Material, welches vorher eine Festigkeit von rund 3500 kg/qcm bei 15 % Dehnung besessen haben soll, ergab nachher 2540 bis 3004 kg/qcm Festigkeit bei 9,25 bis 31 % Dehnung und nach Ausschmieden 3244 bis 3851 kg/qcm bei 21.25 bis 29,5 % Dehnung. Ob das Material zum Vergleich genügend gleichartig war, scheint hier noch fraglich; jedenfalls wurde es im Betrieb lebhaft überanstrengt.

Es steht also zu vermuten, daß die Abnahmeversuche durch andere Umstände beeinflußt waren, wobei auch in Betracht zu ziehen ist, daß die Festigkeitseigenschaften nicht an allen Stellen einer Blechtafel die gleichen zu sein pflegen.

Versuchsergebnisse.

t °C.	F I	F II	T_I	B I	B II	Eigenschaft
20	4617	3972	3395	3252	3651	K_z kg/qcm
100	4777	4190	3555	—	3918	
200	5484	4858	4177[1])	3963	4667	
300	5628	5052	3965	—	—	
20	23,5	23,4	26,2	8,5	22,7	φ %
100	13,9	13,9	16,6	—	12,5	
200	13,9	13,7	15,5	7,4	16,9	
300	19,2	15,6	25,0	—	—	
20	54,0	60,5	67,4	10,9	65,1	ψ %
100	51,3	50,1	57,9	—	53,5	
200	40,7	42,4	56,2	10,4	52,6	
300	41,9	26,9	59,3	—	—	

Hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung muß auf die Arbeit selbst verwiesen werden.

15. Etude sur les propriétés physiques et mécaniques des métaux. P. Charbonnier und Ch. Galy-Aché.

(Communications présentées devant le congrès international des méthodes d'essai des matériaux de construction. 1901.)

Außer Versuchen über den Einfluß des Wärmegrades auf die Streckgrenze bei Kupfer, welche hier nicht angeführt werden, weil die Festlegung der zugehörigen Spannung (oder Dehnung) bei dem untersuchten Material eine willkürliche ist, finden sich Versuche über den Einfluß der Temperatur auf die Stauchung von Kupferzylindern (crushers).

Beim Versuch wurden die beiden Stempel, zwischen welchen der Kupferzylinder zusammengedrückt werden sollte, und der letztere selbst in einem Oelbade erwärmt. Unter der Voraussetzung, daß die Erhitzung lange genug dauerte, kann angenommen werden, daß die Temperatur des Oelbades mit derjenigen des Probekörpers übereinstimmte und daß der letztere gleichmäßig erwärmt war.

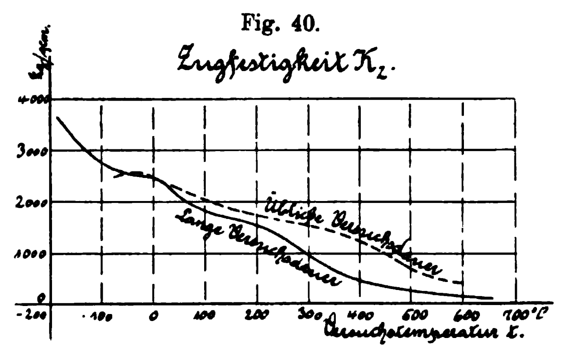
Mit Kupferzylindern von 8 mm Durchmesser und 13 mm Höhe wurden die im folgenden mitgeteilten Ergebnisse erzielt. Die Dauer der Belastung ist nicht angegeben. Da dieselbe auf die Größe der Zusammendrückung von erheblichem Einfluß sein wird (namentlich bei Kupfer), so sind die angegebenen Werte nur unter sich vergleichbar, sofern angenommen werden darf, daß die angewendete Belastung (3000 kg) bei allen Probekörpern gleich lang gewirkt hat.

---

[1]) Streckgrenze noch ausgeprägt vorhanden.

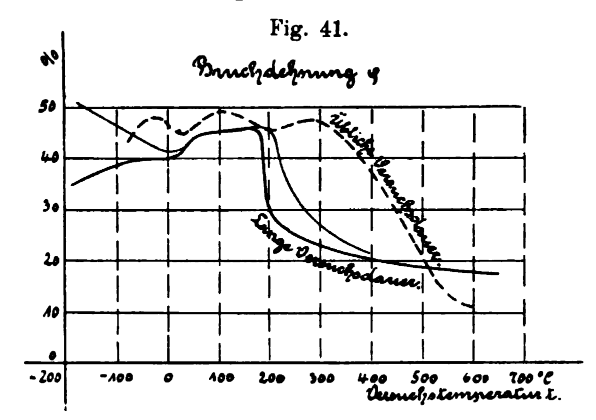
bäder, welche von anderen Forschern benutzt wurden, zu einem Teil größere Wärmeleitungsfähigkeit als Luft besaßen, was auf Ausgleichen von Temperaturunterschieden hinwirkt.

Fig. 40.



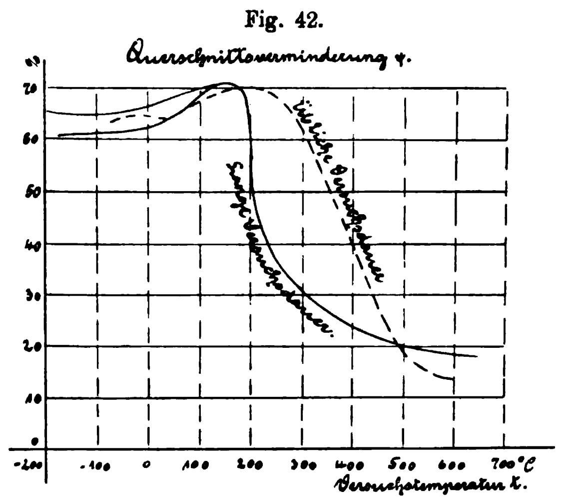
Ermittelt wurde jeweils die Streckgrenze (als diejenige Belastung, bei welcher sich zum ersten Male eine Streckung im Schaubild bemerklich machte), ferner die

Fig. 41.



Zugfestigkeit, Bruchdehnung und Querschnittsverminderung. Hierbei wurden die aus den Fig. 40, 41 und 42 ersichtlichen Werte [1]) erlangt. Zu denselben ist zu

Fig. 42.



[1]) Die eingezeichneten Schaulinien für übliche Versuchsdauer gehören zu dem unter 10e besprochenen Rundkupfer IX. Die stark ausgezogenen Linien gelten (in Fig. 41 bis 45) für Stäbe,

bemerken, daß die Kälteversuche mit gewöhnlicher Belastungsdauer durchgeführt wurden.

Hinsichtlich aller Einzelheiten, namentlich in Bezug auf die Bestimmung der Zugfestigkeit u. s. f., muß auf den Originalbericht verwiesen werden. Hier sei nur bemerkt, daß für die Bruchdehnung und Querschnittsverminderungen jeweils die kleinsten einwandfreien Werte Verwendung fanden.

Von Interesse sind ferner Mitteilungen über die Abhängigkeit der Streckgrenze von der Dauer des Warmzustandes. Für Duranametall (60,8 % Kupfer, 38,8 % Zink, 0,4 % Eisen) ergab sich in hartgewalztem Zustande:

bei 400° C. und für	5 Min.	30 Min.	1 Std.	2 Std.	3 Std.	4 Std. Erwärmungsdauer
die Streckgrenze .	2130	1650	1380	1250	1180	1130 kg/qcm.

Hinsichtlich der hieraus gezogenen Schlüsse über die Notwendigkeit des Ausglühens der Probestäbe vor dem Warmversuch muß auf die Arbeit selbst verwiesen werden.

Zusammensetzung des Probenmaterials.

Kupfer	Schwefel	Antimon Blei Eisen Aluminium
99,95 %	0,007 %	Spuren.

Ergebnisse der Zugversuche.

Normalstäbe aus Stehbolzenkupfer: 10 mm Durchmesser, 100 mm Meßlänge.

t °C.	K_z kg/qcm	σ_s kg/qcm	φ %	ψ %	Bemerkungen
— 190	3680	690	51,3	65,4	Uebliche Belastungsdauer.
— 80	2650	600	45,5	64,7	
+ 20	2370	600	41,5	67,0	
61	2000	540	44,6	68,5	Lange Versuchsdauer.
126	1750	550	45,5	70,0	
165	1670	580	46,0	70,3	
186	1600	580	46,2	68,3	
210	1520	560	44,6	47,0	
263	1200	380	30,7	34,7	
317	820	270	25,5	29,3	
431	400	150	20,0	22,3	
544	220	100	18,1	19,2	
654	150	60	17,4	17,8	
— 190	3780	560	34,7	60,8	Bei 700 ° C. während 30 Min. vorgeglüht; übliche Versuchsdauer.
— 80	2650	420	39,3	61,0	
+ 16	2370	380	40,5	62,6	
126	1750	380	45,5	70,0	Bei 700 ° C. während 30 Min. vorgeglüht; lange Versuchsdauer.
210	1500	460	27,9	47,0	
263	1200	350	24,7	34,7	

b) Warmzerreißversuche mit Duranagußmetall. 1904.

Gesichtspunkte zur Beurteilung der Ergebnisse von Warmzerreißversuchen.

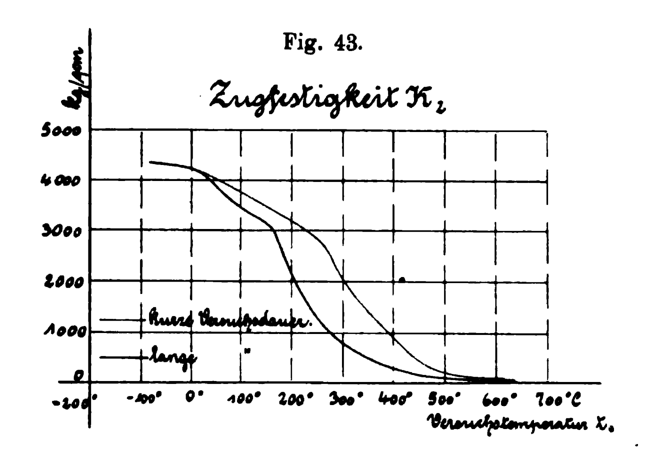
Die Versuchseinrichtung war nach Angabe im wesentlichen dieselbe wie bei den unter a) besprochenen Versuchen mit Kupfer. Es waren jedoch Vervollkomm-

welche bei 700 ° C. während 30 Minuten ausgeglüht wurden, die schwach ausgezogenen für solche, welche während 2 Stunden auf die Versuchstemperatur erwärmt, erkalten gelassen und frühestens am folgenden Tage geprüft wurden.

nungen getroffen worden, welche bewirkten, daß sich innerhalb der Meßlänge nur ganz geringe Temperaturunterschiede ergaben.

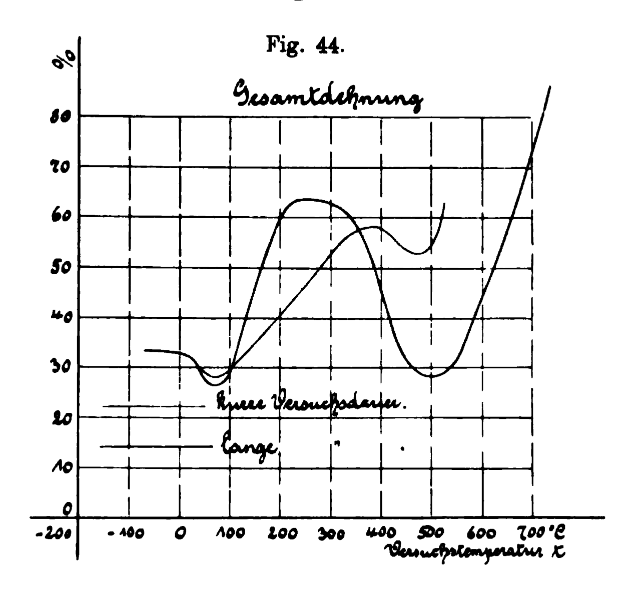
Angestellt wurden Versuche mit gewöhnlicher und mit langer Belastungsdauer. Die Ergebnisse sind im folgenden zusammengestellt und durch die Fig. 43, 44 und 45 veranschaulicht. Hierbei ist zu beachten, daß der Wert der größten (über die

Fig. 43.



Meßlänge gleichförmig verteilten) Dehnung beim Beginn des Einschnürens sowie derjenige der reinen Einschnürung an Hand der Abmessungen des zerrissenen Stabes auf Grund der Annahme bestimmt wurden, daß die Teile, in welche der Stab auf der Meßstrecke vor dem Versuch zerlegt wurde, während desselben ihren Raum-

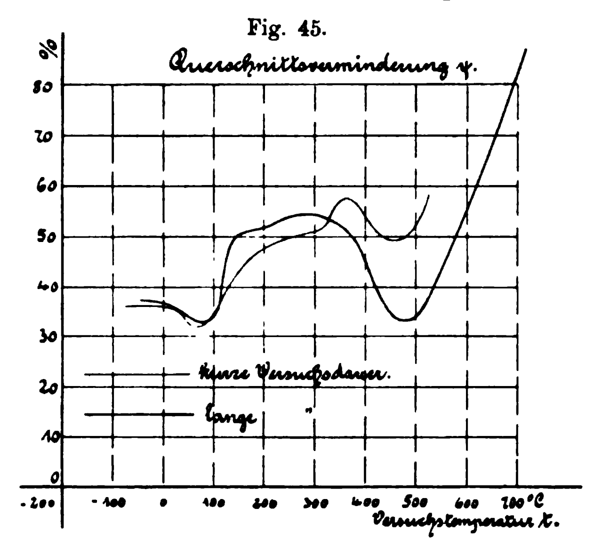
Fig. 44.



inhalt nicht ändern. Da sich das Gewicht des Stabes bezw. der Meßstrecke nicht ändern wird, so kommt diese Annahme darauf hinaus, daß das spezifische Gewicht des Stabmaterials infolge der eingetretenen Formänderung keine Abnahme erfahre. Die erwähnte Dehnungsbestimmung gibt wertvollen Aufschluß über die eigentliche Dehnungsfähigkeit eines Materiales, da sie die Dehnungswerte von dem Einfluß des lokalen, durch Querschnittsverminderung bedingten Teiles befreit.

Hinsichtlich aller Einzelheiten, namentlich in Bezug auf die Erörterung darüber, welchen Einfluß Temperaturunterschiede innerhalb der Meßlänge auf das Ergebnis von Warmversuchen äußern können, muß auf den Originalbericht verwiesen werden.

Fig. 45.



Zusammensetzung des (gegossenen) Probenmaterials:

Kupfer	Zink	Zinn	Blei	Eisen	Schwefel	Phosphor	Arsen	Wismut
58,65 %	39,61 %	0,97 %	0,42 %	0,34 %	0,01 %	0		

Warmzerreißversuch mit Duranagußmetall der Dürener Metallwerke A.-G. in Düren.

1. Lange Versuchsdauer.

t °C.	σ_s kg/qcm	K_z kg/qcm	Größte Dehnung bei Beginn des Einschnürens (berechnet) %	Gesamtdehnung %	Reine Einschnürung (des gestreckten Stabes) %	Querschnittsverminderung %	Gesamtdauer des Zugversuchs St.	Gesamtdauer des Zugversuchs Min.	Dauer der höchsten Belastung St.	Dauer der höchsten Belastung Min.	Bruch (Teilstrecke)
24	1800	4080	31,5	31,8	17,6	35,7	2	15	Riß bei Belastungssteigerung		10
63	1740	3700	25,0	26,5	16,2	33.0	4	30	1	17	8
95	1720	3450	26,6	27,2	15,3	33,1	3	40	1	45	8
127	1720	3250	35,1	37,5	26,5	45,7	8	54	6	—	6
144	1700	3140	40,8	43,8	27,6	48,6	8	15	7	15	9
148	1700	3140	42,8	44,4	27,8	50,0	19	—	16	—	9
170	1640	2800	47,1	49,6	27,5	50,7	43	37	17	22	6
214	1250	1800	53,8	61,6	26,3	52,1	67	15	65	15	5
267	730	1050	57.5	63,3	27,8	54,2	17	45	15	30	4
319	450	650	56,3	60,7	27,2	53,4	6	—	5	—	5
371	280	375	49,3	54,7	25.4	50,0	6	—	3	45	6
420	160	200	37,0	39,3	18,1	40,2	—	48	—	33	6
478	50	75	24,2	29,0	16,9	33,1	—	50	—	33	5
542	—	50	25,0	30,1	27,2	41,8	1	2	1	2	7
700	—	10	—	89,0 [1])	—	96,0	—	45	—	45	5

Hinsichtlich der Angaben über das Aussehen von Oberfläche und Bruchfläche des Probestabes muß auf den Originalbericht verwiesen werden.

[1]) Zwischen den beiden Endmarken gemessen.

2. Kurze Versuchsdauer.

t °C	σ_s kg/qcm	K_z kg/qcm	Größte Dehnung bei Beginn des Einschnürens (berechnet) %	Gesamtdehnung %	Reine Einschnürung (des gestreckten Stabes) %	Querschnittsverminderung %	Bruch (Teilstrecke)
22	1780	4080	31,5	31,8	17,6	35,7	10
62	1770	3930	26,7	27,8	15,7	32,1	10
62	1700	3870	26,6	28,1	15,8	31,8	6
			Mittel: 26,6	28,0	15,8	32,0	
93	1600	3720	27,4	29,0	14,6	33,0	5
124	1750	3595	—[1]	—[1]	—[1]	39,5	3
130	1650	3650	31,6	33,3	20,5	39,6	8
174	1670	3300	36,1	37,5	26,1	45,7	6
207	1710	3130	38,9	40,8	27,8	48,0	8
209	1730	3120	39,9	42,9	27,3	48,0	8
			Mittel: 39,4	41,8	27,5	48,0	
259	1560	2820	44,9	46,5	27,5	50,0	7
257	—	2732	—[1]	—[1]	—[1]	44,9	5
311	1380	1850	49,3	53,9	28,6	50,2	6
311	1380	1880	—[1]	—[1]	—[1]	50,0	5
363	950	1220	52,7	58,2	35,2	57,3	5
363	—	1320	52,7	57,8	35,2	57,5	5
			Mittel: 52,7	58,0	35,2	57,4	
414	650	750	52,7	57,0	27,0	52,2	5
470	250	284	50,4	52,9	24,0	49,5	7
529	140	210	51,5	63,9	37,0	59,0	6
647	44	71	—	70,3[2]	—	80,0	6

17. Ueber die Rolle der Versuche bei der Kontrolle des rollenden Eisenbahnmateriales. Internationaler Verband für die Materialprüfungen der Technik. Budapest 1901, Mitteilung von **E. Vanderheym.** (Nach der Uebersetzung.) (Beilage G, Untersuchungen über die Veränderung der Stahlbleche der Dampfkessel.)

Von zwei gleichen Platten aus Flußeisen wurde die eine sofort zerrissen, die andere verschieden lange Zeit in einem Oelbad auf 200° C. erhitzt und hierauf der Zugprobe unterworfen. Die wichtigsten Ergebnisse sind in folgender Tabelle enthalten.

Material	Elastizitätsgrenze kg/qcm	Zugfestigkeit kg/qcm	Dehnung %	Elast. Verlängerungen p. 1 m	Unterschied der Elastizitätsgrenzen %
A Anlieferung	1656	3389	29,01	0,67	— 22
„ nach 858 Std. Erwärmung	1132	3104	33,16	0,57	
B Anlieferung	1515	3282	35,4	0,73	— 26
„ nach 2747 Std. Erwärmung	1118	3411	37	0,52	
C Anlieferung	1554	3428	31,2	0,76	— 30,8
„ nach 4000 Std. Erwärmung	1075	3218	35,4	0,55	
D Anlieferung	2142	4022	30,05	0,99	+ 3,7
„ nach 858 Std. Erwärmung	2222	4006	29,47	1,05	
E Anlieferung	2013	4105	29,1	0,85	— 8,2
„ nach 2747 Std. Erwärmung	1839	3851	25,0	0,85	
F Anlieferung	2188	4075	27,1	0,97	— 9,2
„ nach 4000 Std. Erwärmung	1986	4069	28,9	0,90	

[1]) Diese Größen waren nicht mit Sicherheit festzustellen.

[2]) Zwischen den beiden Endmarken gemessen.

Hiernach ist der Einfluß selbst kurz dauernder Erwärmung auf die Eigenschaften namentlich von Flußeisen geringer Festigkeit nicht zu verkennen. Eine Bestätigung der ermittelten Zahlen durch Versuche mit anderem Material abzuwarten, scheint angezeigt.

Der Inhalt der Beilage k zur angeführten Arbeit (Veränderung des Eisens der Wagenachsen nach einer sehr langen Betriebszeit) ist in Fußnote 2 auf S. 58 gegeben.

18. Researches on the comparative hardness of acid and basic open-hearth steel at various temperatures, by means of „ball-testing“. J. A. Brinell.

Nach The Iron and Steel Magazine 1905.

(Untersuchungen über die verhältnismäßige Härte von saurem und basischem Flammofenstahl bei verschiedenen Temperaturen unter Verwendung der „Kugelprobe“.)

Die Erwärmung der Versuchskörper erfolgte in einem elektrisch geheizten Ofen; zur Temperaturbestimmung diente ein Le Chatelier-Pyrometer. Nach eingetretener Erhitzung wurden die Proben anscheinend zur Prüfung aus dem Ofen herausgenommen. Hierbei mußte durch die umgebende Luft und das Widerlager der Prüfungsmaschine sowie durch die in das Material gepreßte Stahlkugel (von 15 mm Durchmesser) Abkühlung, namentlich an der Oberfläche des Versuchskörpers, hervorgerufen werden. Die Angaben über die zur Anwendung gelangten Wärmegrade sind also mit Fehlern behaftet, sofern nicht die Widerlagsfläche und die Druckkugel in gleicher Weise wie das Probestück erwärmt und auch während des Versuchs geheizt wurden, worüber Angaben nicht gemacht sind.

Die Prüfung erfolgte, wie schon angedeutet, dadurch, daß eine mit 2000 kg belastete Stahlkugel von 15 mm Durchmesser gegen den Probekörper gepreßt und der Durchmesser der so erzeugten Eindrückung gemessen wurde.

Das untersuchte Material besaß folgende Zusammensetzung:

Bezeichnung	Kohlenstoff	Silizium	Mangan	Schwefel	Phosphor
Saurer Stahl	0,17	0,014	0,35	0,015	0,028 %
Basischer Stahl	0,17	0,014	0,35	0,015	0,009 %

Zugversuche mit dem basischen Material hatten ergeben (bei gewöhnlicher Temperatur):

Streckgrenze (σ_s) 2180 kg/qcm bezw. 21,80 kg/qmm [1])
Zugfestigkeit K_z 3593 „ „ 35,93 „

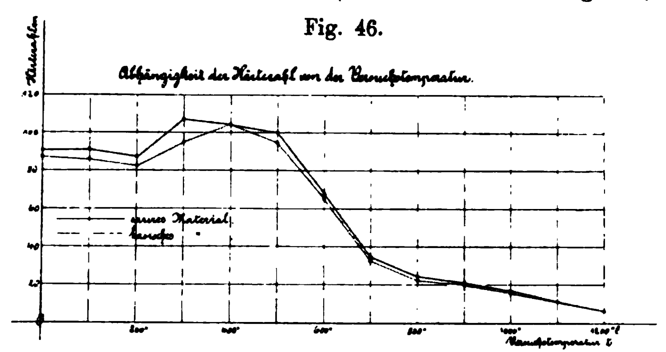
Bruchdehnung auf 50 mm	51 %		
„ „ 100 „	38,2 „	Stabdurchmesser nicht angegeben.	
„ „ 180 „	32,7 „		

Die der Kugelprobe unterworfenen Stücke besaßen einen Querschnitt von 38 . 25 mm und waren bei 850° C. ausgeglüht worden.

Im folgenden sind die Ergebnisse der Versuche mitgeteilt. Von einer Aufzeichnung der Linien für die Zugfestigkeit, deren Größe dadurch bestimmt wurde,

[1]) Um die von Brinell angegebenen Faktoren (0,393 bezw. 0,362) beibehalten zu können, ist in der folgenden Tabelle der Wert der Zugfestigkeit in Kilogrammen auf den Quadratmillimeter angegeben.

daß die jeweils gefundene Härtezahl mit 0,393 [1]) multipliziert wurde, soll hier abgesehen werden. Es ist noch nicht erwiesen, daß es zulässig ist, das Verhältnis


Fig. 46.

von Härtezahl zu Zugfestigkeit bei verschiedenen Versuchstemperaturen als konstant anzusehen, selbst wenn diese Annahme durch Prüfungen bei gewöhnlicher Temperatur bestätigt wird. Fig. 46 stellt die Abhängigkeit der Härtezahlen von der Versuchstemperatur dar.

Versuchsergebnisse.

t °C.	Saurer Stahl			Basischer Stahl		
	Durchmesser der Eindrückung mm	Härtezahl	Zugfestigkeit (berechnet) kg/qmm	Durchmesser der Eindrückung mm	Härtezahl	Zugfestigkeit (berechnet) kg/qmm
0	5,20	91,2	35,8	5,30	87,5	34,40
100	5,20	91,2	35,8	5,35	85,8	33,60
200	5,30	87,5	34,4	5,45	82,5	32,4
300	4,80	107,5	42,2	5,10	95	37,3
400	4,85	104,7	41,1	4,85	104,7	41,1
500	4,95	100,5	39,5	5,10	95	37,3
600	5,95	68,6	26,9	6,10	65,4	25,7
700	8,15	35,2	13,8	8,40	33	12,9
800	9,50	25,0	9,8	9,90	22,7	8,9
900	10,15	21,4	8,4	10,40	20,2	7,9
1000	11,15	17,1	6,7	11,50	15,8	6,2
1100	12,80	11,8	4,6	12,85	11,6	4,5
1200	14,75	6,9	2,7	14,75	6,9	2,7

19. Der Einfluß der Temperatur bei der Bearbeitung von Eisen und Stahl. A. Olry und P. Bonet.

(Nach Zeitschrift der Dampfkesseluntersuchungs- und Versicherungsgesellschaft a. G. Wien 1905. [2])

Die Verfasser stellen, namentlich auf Grund von Schlagversuchen, die im Laboratorium der Stahlhütten von Denain ausgeführt wurden, fest, daß

[1]) Diese Zahl, welche hier an die Stelle der für die 10-Millimeter-Kugel gültigen Zahl 0,362 tritt, besitzt nach Angabe des Verfassers provisorischen Charakter.

[2]) Ueber die Wirkung vorhergehender Zugbelastung bei verschiedenen Wärmegraden in Bezug auf die Ergebnisse der Festigkeitsversuche bei gewöhnlicher Temperatur vergl. die Arbeit „Untersuchungen über den Einfluß voraufgegangener Formänderungen auf die Festigkeitseigenschaften der Metalle" von Rudeloff, Mitteilungen Berlin, 1901.

1. Eisen bei Blauwärme (rund 200 bis 400° C.) große Sprödigkeit besitzt;
2. Schläge, welche ein Stück Eisen bei dieser Temperatur erhält, dauernde Sprödigkeit erzeugen, namentlich dann, wenn der Schlag jeweils nur einen Teil des Körpers trifft;
3. diese Sprödigkeit durch Ausglühen beseitigt werden kann.

Die Prüfungstemperatur wurde auf Grund der Anlauffarbe am Bruch oder an einem Feilstrich mit Hilfe einer vorher ermittelten Farbenskala festgestellt.

Zweck der Versuche ist, darzutun, daß Formänderungen, welche an Kesseln erzwungen werden, während einzelne Teile derselben auf die kritische Temperatur (rund 200 bis 400° C.) erwärmt sind, dauernde Sprödigkeit der letzteren bewirken können, und daß eine Anzahl von Rißbildungen hierdurch Erklärung findet. Weitere Versuche in dieser Richtung, welche das Verhalten anderer Bleche, namentlich auch solcher von mangelhafter Güte, bei verschiedenen Wärmegraden feststellen, dürften wertvolle Ergebnisse zeitigen; zur endgültigen Entscheidung der angeschnittenen Frage scheinen die Untersuchungen, über welche hier berichtet ist, nicht auszureichen.

Schlußbemerkung.

Im vorstehenden hat eine größere Anzahl von Versuchen, welche zu dem bezeichneten Gebiete gehören, keine Erwähnung gefunden.

Es sind das erstens solche in gewisser Hinsicht oft wertvolle Untersuchungen, welche sich mit sehr beschränkten Mengen von Probematerial oder mit Ermittelungen bei nur wenigen verschiedenen Wärmegraden beschäftigen. Hierher gehören insbesondere die Versuche über die Blaubrüchigkeit des Eisens — welche wohl zu den ersten Feststellungen über die Festigkeitseigenschaften eines Metalles bei höherer Temperatur zählen — sowie eine Reihe von Biege- und Schlagversuchen bei niederer Temperatur. Bei diesen Untersuchungen kann die Gesetzmäßigkeit, nach welcher sich die Eigenschaften des Probematerials mit der Erwärmung ändern, nicht erkannt werden.

Zweitens mußten die mit verhältnismäßig dünnen Drähten angestellten Versuche ohne Erwähnung bleiben [1]). Die Abmessungen solcher stehen mit den meist im Maschinenbau verwendeten Materialstärken zu wenig im Einklang, und zu ihrer Formgebung wird ein außergewöhnliches Maß mechanischer Arbeit verbraucht. Beides beeinflußt die Festigkeitseigenschaften, auch wenn vor dem Versuch Ausglühen stattfindet.

---

[1]) Hinsichtlich solcher Versuche sei auf die eingangs erwähnte Arbeit von Ledebur, sowie auf die vor kurzem in den „Mitteilungen über Forschungsarbeiten u. s. f.“ Heft 26 und 27 erschienene Veröffentlichung von Staus verwiesen. Letzterer berichtet auch über eigene Versuche zur Ermittlung des Dehnungskoeffizienten von Stahldraht, wie er zu Indikatorfedern Verwendung findet, bei höheren Wärmegraden. Er stellt zu diesem Zweck Biegeversuche an, kann also die Anwendung von Feinmeßapparaten, deren Anzeigen durch Erwärmung beeinflußt werden können, unterlassen. Dieses Verfahren scheint geeignet, auch bei Probestäben größerer Abmessungen zuverlässige Ergebnisse zu liefern.

Weitere Versuche sind in der Arbeit von Rußner, „Verhalten einiger Metalle in hohen und tiefen Temperaturen“, Dinglers polyt. Journal 1899 S. 141, erwähnt.

Drittens wurden nicht mitgeteilt die Ergebnisse der verschiedenen Arbeiten, welche sich mit der Widerstandsfähigkeit von Bauteilen, die dem Feuer ausgesetzt sind, befassen.

Viertens wird der Leser die Erwähnung und Berücksichtigung der zahlreichen neueren Versuche vermißt haben, welche sich mit den Vorgängen beschäftigen, die bei verschiedenen Wärmegraden den inneren Aufbau der Metalle beeinflussen. Dies mußte unterbleiben, weil Beobachtungen in dieser Richtung im allgemeinen nur für Stoffe vorliegen, deren Festigkeitseigenschaften nicht gleichzeitig ermittelt wurden.

Zusammenfassung.

Ueberblickt man das im vorliegenden Bericht besprochene Versuchsmaterial, so erkennt man, daß zwar ein sehr bedeutendes Maß von Arbeit auf die Erforschung der Eigenschaften der Metalle in Wärme und Kälte verwendet worden ist, daß aber die zu klärenden Fragen noch längst nicht in dem Umfang und mit der Zuverlässigkeit beantwortet sind, wie es im Interesse der ausführenden Technik zu wünschen ist. Es liegen vielmehr noch folgende Aufgaben vor.

Eine erhebliche Anzahl angestellter Versuche muß wiederholt werden, weil bei ihnen Mängel in den getroffenen Anordnungen vorhanden waren.

Für viele Baustoffe hat die Erforschung der Festigkeitseigenschaften in der Wärme ganz oder teilweise noch zu erfolgen, wofür dringendes Bedürfnis vorhanden ist. Es sei hier nur erinnert an eine Reihe hochwertiger Kupferlegierungen und an die zahlreichen Spezialstähle, welche zur Herstellung stark beanspruchter Teile, namentlich auch im Dampfturbinenbau, Verwendung finden. Dieses letztere Beispiel zeigt auch, daß die Bestimmung des Dehnungskoeffizienten in höheren Temperaturen (jedenfalls für gewisse Metalle) praktische Bedeutung besitzt. Bei den hohen Beanspruchungen, welche man zuzulassen genötigt ist (welche umso höher gesteigert werden können, je günstiger sich das verwendete Material im erwärmten Zustande verhält) und bei den bedeutenden Abmessungen rasch bewegter Teile, bei denen Formänderungen nur innerhalb enger Grenzen zulässig sind, ist die Kenntnis der genauen Größe des Dehnungskoeffizienten Bedingung für sachgemäßen Entwurf. Da nun nach Maßgabe des vorliegenden Berichtes vollkommen zuverlässige Messungen zur Bestimmung des Dehnungskoeffizienten in höheren Wärmegraden nicht veröffentlicht sind, so erkennt man, daß Versuche in dieser Richtung angestellt werden müssen.

Ganz besonders aber ist die Widerstandsfähigkeit der Metalle gegenüber Schlagwirkungen zum Gegenstand eingehender Versuche zu machen. Der Wert der Schlagbiegeprobe als Hilfsmittel zur Beurteilung der Materialeigenschaften ist heute noch viel zu wenig gewürdigt für Prüfungen sowohl in gewöhnlicher als auch in höherer Temperatur [1]). Und doch scheint dieselbe nach dem gegenwärtigen Stand unserer Erkenntnis geeignet, Schlüsse hinsichtlich des Verhaltens der Materialien in Maschinen-

---

[1]) Französischen Forschern gebührt das Verdienst, andauernd und nachdrücklich hierauf hingewiesen zu haben (vergl. auch die Arbeit von Lasche, Z. d. V. D. I. 1906).

teilen während des Betriebes, wo sie Stößen und Erzitterungen ausgesetzt sind, zu ermöglichen. Versuche mit eingekerbten Probekörpern werden namentlich ein Maß für die Zähigkeit [1]) der Metalle liefern und auch ein Urteil darüber ermöglichen, welche Widerstandsfähigkeit noch vorhanden ist, wenn aus irgendwelchem Anlaß eine Verletzung der Oberfläche eingetreten ist. Zugversuche liefern Festigkeitszahlen, welche dem Konstrukteur zur Bestimmung der erforderlichen Abmessungen unentbehrlich sind; Schlagversuche, namentlich Schlagbiegeproben, bilden eine notwendige Ergänzung derselben, indem sie Auskunft geben über das Maß der Zähigkeit und Gleichförmigkeit, welche dem untersuchten Material innewohnt, wofür bekanntlich die beim (statischen) Zugversuch ermittelte Bruchdehnung nur bedingten Anhalt gewährt.

Planmäßige Versuche sind ferner darüber anzustellen, welchen Einfluß oft wiederholte [2]) Beanspruchung (bei verschiedener Temperatur) und Erwärmung, erhebliche Temperaturunterschiede benachbarter Teile, sowie die Dauer der Belastung und Erwärmung [3]) auf das Verhalten der Metalle ausüben. Die zuerst genannten Punkte sind schon bei Gelegenheit des Berichtes über Untersuchung von Kesselblechen von Bach (S. 58) erwähnt worden.

Eingehend zu erforschen ist noch die Bedeutung der dem Versuch vorausgegangenen Veränderung des Materials: durch einmaliges oder wiederholtes Ausglühen, Abschrecken, Anlassen, durch die Höhe der dabei angewendeten Temperaturen, die Dauer und Schnelligkeit der Erwärmung, den Grad und die Geschwindigkeit der Abkühlung einerseits, durch Bearbeitung im kalten oder warmen Zustande, Schmieden, Walzen, lebhafte Erschütterungen u. s. f. mit nachfolgender Wärmebehandlung andererseits. Bisher sind in dieser Hinsicht Untersuchungen (jedoch nur bei gewöhnlicher Temperatur) über den Einfluß der Bearbeitung im warmen und kalten Zustande (verschiedene Walztemperaturen, Ziehen u. s. f.), über die Vermehrung der Widerstandsfähigkeit von Flußeisen, namentlich bei Schlagbiegeproben, durch Abschrecken und nachfolgendes Anlassen, sowie über die Erhöhung der Festigkeit von Gußeisen infolge lebhafter Erschütterung angestellt worden. Ueber Untersuchungen mit Kupfer, aus welchen der Einfluß der Kaltbearbeitung auf das Verhalten auch in höheren Wärmegraden beurteilt werden kann, ist auf S. 32 f. berichtet worden.

Erforderlich sind schließlich Beobachtungen darüber, welche Beimengungen auf die Eigenschaften eines Metalles in der Wärme günstig einwirken. Aus solchen Untersuchungen, welche bisher nur in vereinzelten Fällen bekanntgegeben oder angestellt worden sind, könnte die Technik bedeutenden Nutzen ziehen.

---

[1]) Es sei hier bemerkt, daß es dringend erwünscht scheint, Vereinbarungen über Form. Größe und Herstellung der Einkerbungen zu treffen, damit die Ergebnisse der Arbeiten verschiedener Forscher untereinander verglichen werden können.

[2]) Solche Versuche sind bei gewöhnlicher Temperatur neuerdings in England namentlich nach Vorgang des Professor Arnold in Aufnahme gekommen. Verfasser hält jedoch das von diesem angewandte Verfahren nicht für vollkommen, indem die Probekörper im allgemeinen zu großen und zu rasch aufeinander folgenden Formänderungen unterworfen werden.

[3]) Diese Fragen hat Stribeck in seinen Arbeiten über das Verhalten von Kupfer und Duranametall behandelt. Vergl. auch die Untersuchungen von Bach für Stahlguß S. 50, für Mantelbleche S. 51, sowie die Arbeiten von Le Chatelier S. 11 ff.

Sieht man aber davon ab, daß das Gebiet der Warmversuche nach vielen Richtungen hin noch unerforscht ist, und schreitet man dazu, das Vorhandene zu verarbeiten, so erkennt man, daß mit Hilfe der bisher angewendeten Prüfungsverfahren im Verein mit chemischen Untersuchungen eine lange Reihe wertvoller Tatsachen festgestellt worden ist, daß diese jedoch des gegenseitigen Zusammenhanges in den meisten Fällen entbehren. Die ausübende Technik kann aus den Ergebnissen bedeutenden Nutzen ziehen: sie erhält Grundlagen zur Bestimmung der Abmessungen der Maschinenteile, und ihrer Formänderungen; Aufschluß darüber wird verschafft, ob sich ein vorliegendes Material für gewisse Zwecke eignet oder nicht; Gründe oder Erklärungen dafür aber, daß sich Metalle ähnlicher Zusammensetzung und gleicher Festigkeitseigenschaften bei gewöhnlicher Temperatur (oder auch dieselben Materialien nach anderer Vorbehandlung) im erwärmten Zustande so sehr verschieden verhalten können, daß die Eigenschaften des einen Materials durch Erhitzen mehr notleiden als die eines anderen, gleichartigen, liefern die bisher üblichen Warmversuche nicht. Aus der Erklärung dieser Erscheinungen aber könnte die ausübende Technik wesentlichen Nutzen ziehen, wenn es sich darum handelt, die Festigkeitseigenschaften der Baustoffe in höheren Wärmegraden zu verbessern, Materialien zu erzeugen, welche den stetig wachsenden Anforderungen des Maschinenbaus zu genügen vermögen.

Unser Wissen in der eben angedeuteten Richtung zu erweitern, dazu scheinen in hervorragendem Maße die schon erwähnten neueren Versuche berufen, welche die Erforschung des inneren Aufbaus der Metalle und Legierungen, seiner Veränderungen [1]) bei verschiedenen Wärmegraden, infolge verschiedener Behandlung u. s. f. zum Gegenstande haben.

Durch Beobachtungen dieser Art, im Verein mit den bisher üblichen Prüfungsverfahren, d. h. durch vollkommene physikalische und chemische Untersuchung der Materialien, wird unsere Erkenntnis hinsichtlich des Verhaltens der Metalle in verschiedenen Wärmegraden nutzbringende Förderung erfahren.

---

[1]) Solche Veränderungen können u. a. auch durch Längen- oder Volumvermehrung, Wechsel im magnetischen und elektrischen Widerstand, durch Unstetigkeit in der Abkühlungsgeschwindigkeit zum Ausdruck gelangen.